

#2
22 May 01
R. Tallent

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Masahiro MURAKAWA, et al.

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: OPTICAL AXIS ADJUSTMENT METHOD, AND STORAGE MEDIUM RECORDED WITH A PROGRAM THAT EXECUTES SAID ADJUSTMENT METHOD

REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2000-318278	October 18, 2000

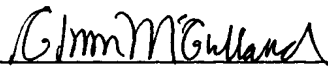
Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
(B) Application Serial No.(s)
☐ are submitted herewith
☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

1c713 U.S. PTO
09/749903
12/29/00

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Marvin J. Spivak
Registration No. 24,913

C. Irvin McClelland
Registration Number 21,124



22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 10/98)

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年10月18日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-318278

出 願 人

Applicant (s):

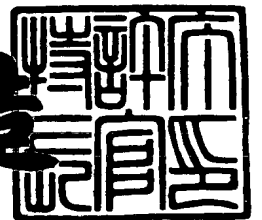
工業技術院長
村川 正宏
樋口 哲也



2000年12月22日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3107392

【書類名】 特許願
 【整理番号】 10744470
 【提出日】 平成12年10月18日
 【あて先】 特許庁長官 殿
 【国際特許分類】 G02B 6/00
 G02B 6/32
 G02B 6/42
 G02B 7/00

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技術院電子技術
 総合研究所内

【氏名】 村川 正宏

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技術院電子技術
 総合研究所内

【氏名】 樋口 哲也

【特許出願人】

【代表出願人】

【識別番号】 000001144

【氏名又は名称】 工業技術院長 梶村 皓二

【特許出願人】

【識別番号】 500046896

【氏名又は名称】 村川 正宏

【特許出願人】

【識別番号】 597073531

【氏名又は名称】 樋口 哲也

【指定代理人】

【識別番号】 220000356

【氏名又は名称】 工業技術院電子技術総合研究所長 児玉 皓雄

【電話番号】 0298-61-2175

【代理関係の特記事項】 特許出願人 工業技術院長の指定代理人

【その他】 国以外の全ての者の持ち分の割合 50 / 100

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光軸調整方法およびその調整プログラムを記録した記録媒体

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の光学部品を含む光伝送路の光軸調整方法であって、該光学部品の内特定の単一もしくは複数の光学部品の光軸を、該光伝送路を通過した光の評価値が最適となるように、確率的探索手法に従って調整装置が順次変化させることを特徴とする光軸調整方法。

【請求項 2】 前記調整装置は、遺伝的アルゴリズムに従って光軸を順次に変化させて最適値を探索することを特徴とする請求項 1 記載の光軸調整方法。

【請求項 3】 前記調整装置は、遺伝的アルゴリズムに従って光軸を順次変化させたのちに、山登り法に従って最適値を探索することを特徴とする請求項 1 記載の光軸調整方法。

【請求項 4】 前記調整装置は、焼きなまし法に従って光軸を順次に変化させて最適値を探索することを特徴とする請求項 1 記載の光軸調整方法。

【請求項 5】 前記調整装置により光軸が変化させられている間の光軸座標値を計測し、そのときの伝送路通過光の評価値と組でメモリに記憶し、その組の中から評価値が最も大きい組の光軸座標値を局所的な最適解とすることを特徴とする請求項 1 から 4 までの何れか記載の光軸調整方法。

【請求項 6】 前記調整装置は、前記光伝送路を通過した光の評価値として、光強度を用いることを特徴とする請求項 1 から 5 までの何れか記載の光軸調整方法。

【請求項 7】 前記調整装置は、前記光伝送路を通過した光の評価値として、光位置ずれ量を用いることを特徴とする請求項 1 から 5 までの何れか記載の光軸調整方法。

【請求項 8】 前記複数の光学部品として、光ファイバを含むことを特徴とする請求項 1 から 7 までの何れか記載の光軸調整方法。

【請求項 9】 前記複数の光学部品として、光ファイバアレイを含むことを特徴とする請求項 1 から 7 までの何れか記載の光軸調整方法。

【請求項 10】 前記複数の光学部品として、レンズを含むことを特徴とする請

請求項 1 から 7 までの何れか記載の光軸調整方法。

【請求項 1 1】 前記複数の光学部品として、発光素子を含むことを特徴とする請求項 1 から 7 までの何れか記載の光軸調整方法。

【請求項 1 2】 前記複数の光学部品として、受光素子を含むことを特徴とする請求項 1 から 7 までの何れか記載の光軸調整方法。

【請求項 1 3】 前記複数の光学部品として、光導波路を含むことを特徴とする請求項 1 から 7 までの何れか記載の光軸調整方法。

【請求項 1 4】 前記複数の光学部品として、ミラーを含むことを特徴とする請求項 1 から 7 までの何れか記載の光軸調整方法。

【請求項 1 5】 前記調整装置は、電子計算機と、該電子計算機に読み取り可能な記録媒体とを含む、請求項 1 から 1 4 までの何れか記載の光軸調整方法。

【請求項 1 6】 請求項 1 5 記載の光軸調整方法において、前記電子計算機が実行する、前記光学部品の内特定の単一もしくは複数の光学部品の光軸を、前記光伝送路を通過した光の評価値が最適となるように確率的探索手法に従って変化させる調整プログラムを記録した記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、種々の光学部品を含む光伝送路の光軸調整方法に関し、特に光学部品として光ファイバ、光ファイバアレイ、レンズ、発光素子、受光素子、半導体レーザ、光導波路、ミラーなどを含む光伝送路の光軸調整方法及びその調整プログラムを記録した記録媒体に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術および発明が解決しようとする課題】

一般に、光通信、光計測、レーザー加工等に用いられる装置またはシステムの光伝送路では、光ファイバ、平板型導波路、半導体レーザ、ミラー等の光学部品が数多く接続される。このため、光学部品相互における光軸調整の高速化、高精度化が重要な課題となっている。

【0 0 0 3】

図 1 に示すように、光ファイバ同士の接続では軸ずれ、間隙、折れ曲がり、端面の不完全性によって、接続損失が発生する。この問題を解決するために、機械的嵌合によって光軸調整を行うコネクタが主として用いられるが、これ以外の光学部品の組み合わせ、例えば光ファイバと平板型光導波路との接続、半導体レーザとレンズ及びレンズと光ファイバとの接続等では加工上の制約等からコネクタ等の嵌合部品の使用が困難であるため、微動ステージ等の精密位置決め装置を用いて光学部品相互の光軸調整が行われる。

【 0 0 0 4 】

例えば、図 2 に例示するような、光ファイバと受光素子を含む光伝送路での光軸調整においては、光ファイバの光軸の自由度は、光軸の垂直方向に 2 自由度（ x 、 y ）、その軸回りの回転方向に 2 自由度（ θx 、 θy ）、光軸方向に 1 自由度（ z ）となり、合計 5 自由度となる。

【 0 0 0 5 】

このような光軸調整においては、光軸の自由度を変数として、光伝送路通過後の光強度の最大値を、与えられた探索アルゴリズムにしたがって求める。（以下では、前記変数を光軸座標値と呼ぶことにする。）この探索アルゴリズムとしては、従来山登り法が用いられている。この山登り法を図 2 の伝送路に用いた従来の光軸調整方法について、図 3 を参照して説明する。

【 0 0 0 6 】

まず、一光軸方向に、所定の送りピッチで、光ファイバを受光素子に対して相対移動し、移動したそれぞれの位置で受光素子の受光強度を比較しピークの得られる位置を探索する。これを、 X 、 Y 、 Z の三軸についてそれぞれ独立に同様の手順を受光強度が増加する限り繰り返す。また、特開平 9 - 3 1 1 2 5 0 号公報に示すように、探索時間を短縮するために送りピッチを数段階に設定し、粗調整、微調整の順で行う場合もある。

【 0 0 0 7 】

図 4 は、受光強度が単調増加の分布ではなく、局所ピークをもつ場合を表した図である。このような局所ピークが存在すると局所ピークで探索が終了するため従来の山登り法では真のピークに到達できない。特に、半導体レーザ、レンズ、

光ファイバの複数部品の一つの光軸に沿って多段に直列に並べて光学部品を接続する場合のように、調整すべき光軸の自由度が大きい場合は、局所ピークが多数存在するために、十分な受光強度を得るまえに、探索が終了してしまうという問題点がある。

【 0 0 0 8 】

山登り法以外にも、例えば特開昭 6 2 - 7 5 5 0 8 号公報に示す、ベクトル探索を用いたものもある。これは、探索に勾配測定を応用し、ベクトル的な探索を試みたものである。しかし、従来の山登り法に比べて移動回数を少なくできるものの、ピークを確認する手段がなく、山登り法同様局所的ピークにとどまる可能性があるという問題点がある。

【 0 0 0 9 】

さらに、特開平 6 - 2 2 6 4 1 5 号公報や特開平 7 - 6 2 8 2 3 号公報に記載されているように、受光強度分布にある一定の形状を仮定して、計測結果からその形状パラメタを推定し、探索時間を短縮する手法もある。しかし、これらの手法においても、依然として局所的ピークにとどまる可能性があり、また対象とする伝送光の強度分布が仮定より大幅に異なる場合は、新たにアルゴリズムを追加したり変更しないかぎり、有効な探索ができなくなるという問題点もある。

【 0 0 1 0 】

以上のように、従来の光部品の光軸調整技術では、探索に時間がかかる場合や、局所的ピークに捕われて、十分な受光強度が得られないという問題がある。とくに、光ファイバに受光素子、発光素子などが接合された光モジュールを製造する場合、光軸調整に長時間を要するため、製造工数が大きくなり生産性が低下し、製造コストが増大するという問題点がある。

【 0 0 1 1 】

また上記の説明は、光ファイバと他の光学部品との光軸調整に関するものであるが、光伝送路中に、空気中を伝播させる部分を含む場合にも同様の問題が発生する。たとえば、各種装置の可動部と固定の制御部との間の制御信号や映像信号をレーザ光を用いて伝送する光伝送路においては、発光ユニットから受光ユニットに対してレーザ光を発射する。その場合、発光ユニットでは図 2 の場合と同様

に5自由度の光軸調整が必要であり、光軸調整に大変な手間と時間を要するという問題があった。

【0012】

さらに、空气中を伝播させる光伝送路に、複数のミラーを組み合わせて伝送光を反射させる光路を含む場合もあり、そのミラー位置調整においても、同様の問題が発生する。たとえば、レーザー加工等において、被加工物の目標照射位置まで正確にレーザ光を伝送する場合などである。このような場合、ミラー位置を目視で確認しながら、手動でミラーの角度調整を行う方法が一般的である。しかしながら、放射線環境下や、高温環境下のように人が近づけない場合や、遠隔地から調整しなければならない場合は、CCDカメラ等のセンサを用いて自動調整する必要があり、この場合には、複数ミラーの多自由度の調整をする必要がある。

【0013】

そのような調整において、直径が数十cmのミラーの位置調整が必要な場合があり、その場合の大きな問題点は、ミラーの一つの光軸の変位が重力によるたわみなどによって他の光軸の変位にも影響を及ぼすことである。たとえば、可変ミラーのX軸を変位させた場合、本来は変位しないはずの他の軸（たとえばY軸）も同時に変位が発生してしまう。そのため、光軸変位量と、目標位置からのずれ量の関係が単調にならず、山登り法を用いて自動調整した場合、調整が局所的なピークにとらわれて、目標位置から大きくずれてしまうという問題があった。

【0014】

また、そのような調整が必要な環境では、光軸調整時に、外部からの機械的な雑音、振動等によって光軸ずれが生じたり、空気のゆらぎ等によって光の評価値に雑音ののる場合が多く、そのような場合勾配を用いる探索方法では探索が発散してしまう問題点がある。つまり、観測値から求めた勾配値が、雑音のためまったく異なる値になってしまい、複数回続くと探索がまったく関係ない方向に進んでしまう。

【0015】

それゆえ本発明は、上述の点に鑑みて、局所的なピークを回避して多自由度の光軸調整を高速かつ並列に実行することができ、しかも伝送光強度分布の形状に

応じてアルゴリズムを追加、変更する必要がなく、更には外乱の存在に強い光伝送路の光軸調整方法を提供することを目的としている。

【0016】

【課題を解決するための手段およびその作用・効果】

上記目的を達成するため、請求項1記載の本発明の光軸調整方法は、複数の光学部品を含む光伝送路の光軸調整方法において、該光学部品の内特定の単一もしくは複数の光学部品の光軸を、該光伝送路を通過した光の評価値が最適となるように、確率的探索手法に従って調整装置が順次変化させることを特徴としている。

【0017】

かかる調整方法によれば、複数の光学部品を含む光伝送路において、特定の単一もしくは複数の光学部品の光軸が、該光伝送路を通過した光の評価値が最適となるように、確率的探索手法に従って順次変化させられるので、評価値の局所的なピークを回避して、多自由度の光軸調整を高速かつ並列に実行することができる。しかも伝送光強度分布の形状に応じてアルゴリズムを追加、変更する必要がなく、更には外乱の存在による探索性能の低下をも改善することができる。

【0018】

ここで、光伝送路を通過した光の評価値は一般に、その光伝送路が含む複数の調整可能な光軸の座標値を引数とする関数Fで表すことができる。光伝送路を通過した光の評価値を最適にすることは、関数Fの最適解を求めることと等価である。本発明者はこの点に注目し、光伝送路の光軸調整に、遺伝的アルゴリズムをはじめとする確率的探索手法が適用可能なことを発見した。

【0019】

遺伝的アルゴリズムは、確率的探索手法の一つであり、(1)広域探索において有効に作用し、(2)評価関数F以外には微分値等の派生的な情報が必要でなく、(3)しかも容易な実装性を持ち、(4)外乱の影響をうけにくい、アルゴリズムである。従って、本発明においては、請求項2記載のように、上記調整装置による最適光軸座標値探索に遺伝的アルゴリズムを用いても良い。

【0020】

また、請求項 3 記載のように遺伝的アルゴリズムに従って光軸を順次変化させたのちに、山登り法に従って光軸座標の最適値を探索しても良い。これによって、調整時間を短縮することができる。

【0021】

さらに、上記評価関数 F が特殊な条件をみたす場合には、遺伝的アルゴリズムの代わりに、これも確率的探索手法の一つである焼きなまし法を用いることにより探索効率を向上させることも可能である。従って、本発明においては、請求項 4 の記載のように、上記調整装置による最適光軸座標値探索に焼きなまし法を用いても良い。このようにすれば、遺伝的アルゴリズムと比較して調整によって得られる性能は低くなるものの、調整時間を短縮することができる。

【0022】

また、本発明においては、請求項 5 の記載のように、調整装置により光軸が変化させられている間の光軸座標値を計測し、そのときの伝送路通過光の評価値と組でメモリに記憶し、その組のなかから評価値が最も大きい組の光軸座標値を局所的な最適解としてもよい。このようにすれば、探索効率を改善し、調整時間を大幅に短縮することができる。

【0023】

そして、本発明においては、請求項 6 の記載のように、調整装置が最適座標値を探索する際に、光伝送路を通過した光の評価値として光強度を用いることとしても良い。また、請求項 7 の記載のように、調整装置が最適座標値を探索する際に、光伝送路を通過した光の評価値として光位置ずれ量を用いることとしても良い。

【0024】

さらに、上述したこの発明の光軸調整方法は、請求項 8 記載のように、光伝送路に光ファイバが含まれていても良く、請求項 9 記載のように、光伝送路に光ファイバアレイが含まれていても良い。また、請求項 10 記載のように、レンズが含まれていても良く、請求項 11 記載のように、発光素子が含まれていても良い。さらにまた、請求項 12 記載のように、受光素子が含まれていても良く、請求項 13 記載のように、光導波路が含まれていても良く、請求項 14 記載のように

、ミラーが含まれていても良い。

【 0 0 2 5 】

そして、上述した光軸調整方法における上記調整装置は、請求項 1 5 の記載のように、電子計算機と、該電子計算機に読み取り可能な記録媒体とを含んでいても良く、このようにすれば、単一もしくは複数の光学部品の光軸座標値を、光伝送路を通過した光の評価値が最適となるように確率的探索手法に従って探索する処理を短時間で容易かつ確実に行うことができる。

【 0 0 2 6 】

さらに、請求項 1 6 記載の本発明の記録媒体は、請求項 1 5 記載の電子計算機が実行する単一もしくは複数の光学部品の光軸座標値を、光伝送路を通過した光の評価値が最適となるように確率的探索手法に従って探索する調整プログラムを記録したものであることを特徴とするものである。かかる記録媒体によれば、本発明の光軸調整方法のために電子計算機が実行する調整プログラムを記録し保存し得て、任意の場所での光学装置の調整を行うことができる。

【 0 0 2 7 】

【発明の実施の形態】

以下に、この発明の実施の形態を実施例によって、図 5 ないし図 2 1 を参照して詳細に説明する。

【 0 0 2 8 】

図 5 は、本発明の光軸調整方法を実施するために構成した、光伝送路の光軸調整システムを示す。図 5 中、1 は複数の光学部品を含む光伝送路、1 0 はその先端の光軸座標値が制御信号（調整信号）2 の値に応じて変化させ得る光ファイバであり、1 1 は光軸座標値を変化させない受光素子である。光ファイバ 1 0 および受光素子 1 1 は、光伝送路 1 の 1 構成要素であり、受光信号を電気信号の受光信号 R S に変換する機能も有する。4 は、光ファイバ 1 0 の先端に結合され、制御信号 2 の示す値に応じて光ファイバ 1 0 の各光軸座標値を変化させるための精密位置決め機構である。5 は、本発明の方法に従って制御信号 2 を精密位置決め機構 4 に出力して光ファイバ 1 0 の先端の光軸座標値を調整するための調整装置、6 は受光素子 1 1 での受光強度を計測し、評価信号 3 を出力するための観測装

置である。観測装置 6 は光検出器 6 C およびリード線 6 D を含んでいる。

【0029】

また、図 5 中、7 は光源、8 は伝送光で、11 は受光素子、19 は伝送リード線である。光源 7 により発信した伝送光 8 は、光伝送路 1 を伝送し、受光素子 11 に到達し、受光素子 11 からの受光信号 RS が他の装置に信号を伝送する。また、受光信号 RS は観測装置 6 に入力される。3 は観測装置 6 が調整装置 5 に出力する評価信号である。なお、本明細書及び図面で同じ参照符号を付したものは同じものの又は相当するものを意味している。

【0030】

図 5 において、光ファイバ 10 および受光素子 11 の配置、およびかかる光学部品に関する光路の配置は、その概念を示す例示であり、実際には光伝送路の設計により決められる。

【0031】

上記において、光ファイバ 10 は本発明の方法で光軸座標値が調整される光学部品であり、受光素子 11 は、光ファイバ 10 と同様に本発明の方法により光軸座標値の調整が行われる光学部品であっても、他の方法、たとえば光伝送路を設置した直後の粗調整など、人手や従来手法による調整を行うようにしても良い。

【0032】

光軸座標値が調整可能な光ファイバ 10 としては、シングルモードファイバやマルチモードファイバが用いられる。受光素子 11 としては、フォトダイオードやアバランシュフォトダイード等が用いられる。

【0033】

光ファイバ 10 の光軸座標値は、図 2 に示したように、直交座標系 X 軸、Y 軸、Z 軸のそれぞれ方向の変位量 x 、 y 、 z 、と、X 軸を中心とした回転の量 θ_x 、Y 軸を中心とした回転の量 θ_y 、との合計 5 自由度である。光軸座標系の原点は、伝送路設置時の初期位置とする。

【0034】

受光素子 11 は、受光量を電気信号に変換し、リード線 6 D を介して、受光信号 RS を他の装置または検出器 6 C に伝送する。本発明による光軸調整時には光

源 7 は所定強度の信号を出力する。検出器 6 C は、入力した信号の振幅情報を、評価信号 3 として調整装置 5 に引き渡す。本発明の実施例では、光伝送路を通して光の評価値として、光強度を用いている。

【 0 0 3 5 】

調整装置 5 は、評価信号 3 をよみとり、後述の遺伝的アルゴリズムに従って、光ファイバ 1 0 の光軸座標の最適値を探索し、座標値を設定する制御信号 2 を出力する。精密位置決め機構 4 は、制御信号 2 に従って、光ファイバ 1 0 の光軸座標値を変更する。精密位置決め装置としては、ステップモータやピエゾ素子などを用いた駆動機構が用いられる。その場合、精密位置決め機構 4 に、位置決め機構用制御装置が含まれる場合がある。

【 0 0 3 6 】

なお、調整装置 5 は、パーソナルコンピュータあるいはマイクロコンピュータ等の読み取り可能な記録媒体／記録媒体の読み取り装置 5 D を具備した電子計算機により構成することが可能である。

【 0 0 3 7 】

上記の電子計算機に於いては、後述の遺伝的アルゴリズムによる調整プログラムがハードディスク、ROM（読みだし専用メモリ）、光ディスク、光磁気ディスク、フレキシブルディスク、磁気ディスク、フラッシュメモリ、強誘電体を利用したメモリ、磁性体を利用したMRAM、バックアップ機能をもつ半導体メモリ、等の記録媒体に格納されている。また、上記の調整を行うプログラムは、ネットワークを経由して伝送・配信されるものであってもよい。

【 0 0 3 8 】

調整対象となる光伝送路 1 の光ファイバ 1 0 は、上述のように 5 自由度をもっており、従来手法を用いた場合、図 4 に例示したように、局所的なピークに捕われて探索が終了してしまう場合が多い。それゆえ、本発明に基づく遺伝的アルゴリズムを用いた以下で説明する調整手法が非常に有効である。

【 0 0 3 9 】

上記光伝送路が設置された後、調整工程で、図 5 に示すように、光源 7、調整装置 5、精密位置決め装置 4、観測装置 6 C および 6 D 調整がそれぞれ配置され

る。そして、図6に示したフローチャートに従い光軸調整を行う。

【0040】

この処理手順では、まずステップS1で、光源を動作させ人手もしくは従来手法により光ファイバ10（または受光素子11）の粗調整を行い、さらに調整装置5や検出器6Cを初期化する。なお、粗調整後の各光軸座標値を、以下の調整では基準点（ x_0 、 y_0 、 z_0 、 θx_0 、 θy_0 ）に設定する。次のステップS2で、受光素子11での受光強度を検出器6Cが観測してその評価値を調整装置5に送り、次のステップS3で、調整装置5が、受光強度が所定値を超えたか否かを判定する。

【0041】

ここで所定値を超えていない場合には、ステップS4で、調整装置5が、確率的探索手法に従って光軸座標値を変更するための制御信号2を出力し、次のステップS5で、精密位置決め機構4が停止するまで一定時間待機し、次のステップS6で、終了条件（具体的には後述する。）をみたしたか否かを判断し、終了条件をみたしていればステップS7で不良品処理を行った後に当該処理を終了するが、終了条件をみたしていなければステップS2へ戻る、という一連の処理が繰り返し実行される。そして上記ステップS3で、光学装置の性能が所定の仕様を満たすものとなったとの判定が得られた場合には、当該処理を終了する。

【0042】

ここで、受光素子11の受光強度は、光ファイバ10の光軸座標値を引数とする関数Fで表すことができる。受光強度を最大にすることは、関数Fの最適解を求めることと等価である。本発明者はこの点に注目し、光ファイバ10の光軸調整に、遺伝的アルゴリズムを適用可能なことを発見した。

【0043】

遺伝的アルゴリズムの参考文献としては、例えば、出版社ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, INC. が1989年に出版した、David E. Goldberg著の「Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning」がある。なお、本発明でいう遺伝的アルゴリズム

ムとは、進化的計算手法のことをいい、進化的戦術 (Evolution Strategy: ES) の手法も含むものである。進化的戦術の参考文献としては、例えば、出版社 John Wiley & Sons が 1995 年に出版した、H. P. Schwefel 著の「Evolution and Optimum Seeking」がある。

【0044】

一般的な遺伝的アルゴリズムでは、まず遺伝子を持つ仮想的な生物の集団を設定し、あらかじめ定めた環境に適応している個体が、その適応度の高さに応じて生存し、子孫を残す確率が増えるようにする。そして、遺伝的操作と呼ばれる手順で親の遺伝子を子に継承させる。このような世代交代を実行し、遺伝子および生物集団を進化させることにより、高い適応度を持つ個体が生物集団の大勢を占めるようになる。そしてその際の遺伝的操作としては、実際の生物の生殖においても生じる、遺伝子の交叉、および突然変異等が用いられる。

【0045】

図 7 は、かかる遺伝的アルゴリズムの概略手順を示すフローチャートであり、ここでは、初めにステップ S11 で、個体の染色体を決定する。すなわち、世代交代の際に親の個体から子孫の個体に、どのような内容のデータをどのような形式で伝えるかを定める。図 8 に染色体を例示する。ここでは、対象とする最適化問題の変数ベクトル x を、 M 個の記号 A_i ($i = 1, 2, \dots, M$) の列で表わすことにし、これを M 個の遺伝子からなる染色体とみなす。図 8 中、 Ch は染色体、 G_s は遺伝子を示し、遺伝子の個数 M は 5 である。遺伝子の値 A_i としては、ある整数の組、ある範囲の実数値、単なる記号の列などを問題に応じて定める。図 8 の例では、 $a \sim e$ のアルファベットが遺伝子である。このようにして記号化された遺伝子の集合が個体の染色体である。

【0046】

上記ステップ S11 では次に、各個体が環境にどの程度適応しているかを表わす適応度の計算方法を決定する。その際、対象とする最適化問題の評価関数の値がより高い変数あるいはより低い変数ほど、それに対応する個体の適応度が高くなるように設計する。またその後に行う世代交代では、適応度の高い個体ほど、

生き残る確率あるいは子孫を作る確率が他の適応度の低い個体よりも高くなるようにする。逆に、適応度の低い個体は、環境にうまく適応していない個体とみなして、消滅させる。これは、進化論における自然淘汰の原理を反映したものである。すなわち適応度は、生存の可能性という面から見て各個体がどの程度優れているかを表わす尺度となる。

【0047】

遺伝的アルゴリズムでは、探索開始時においては、対象とする問題は一般にまったくのブラックボックスであり、どのような個体が望ましいかはまったく不明である。このため通常、初期の生物集団は乱数を用いてランダムに発生させる。従ってここにおける手順でも、ステップS12で処理を開始した後のステップS13では、初期の生物集団は乱数を用いてランダムに発生させる。なお、探索空間に対して何らかの予備知識がある場合は、評価値が高いと思われる部分を中心にして生物集団を発生させるなどの処理を行うこともある。ここで、発生させる個体の総数を、集団の個体数という。

【0048】

次にステップS14で、生物集団中の各個体の適応度を、先にステップS11で決めた計算方法に基づいて計算する。各個体について適応度が求まったら、次にステップS15で、次の世代の個体の基となる個体を集団から選択淘汰する。しかしながら選択淘汰を行うだけでは、現時点で最も高い適応度を持つ個体が生物集団中に占める割合が高くなるだけで、新しい探索点が生じないことになる。このため、次に述べる交叉と突然変異と呼ばれる操作を行う。

【0049】

すなわち、次のステップS16では、選択淘汰によって生成された次世代の個体の中から、所定の発生頻度で二つの個体のペアをランダムに選択し、染色体を組み変えて子の染色体を作る（交叉）。ここで、交叉が発生する確率を、交叉率と呼ぶ。交叉によって生成された子孫の個体は、親にあたる個体のそれぞれから形質を継承した個体である。この交叉の処理によって、個体の染色体の多様性が高まり進化が生じる。

【0050】

交叉処理後は、次のステップ S 1 7 で、個体の遺伝子を一定の確率で変化させる（突然変異）。ここで、突然変異が発生する確率を突然変異率と呼ぶ。遺伝子の内容が低い確率で書き換えられるという現象は、実際の生物の遺伝子においても見られる現象である。ただし、突然変異率を大きくしすぎると、交叉による親の形質の遺伝の特徴が失われ、探索空間中をランダムに探索することと同様になるので注意を必要とする。

【 0 0 5 1 】

以上の処理によって次世代の集団が決定され、ここでは次に、ステップ S 1 8 で、生成された次世代の生物集団が探索を終了するための評価基準を満たしているか否かを調べる。この評価基準は、問題に依存するが、代表的なものとして次のようなものがある。

- ・生物集団中の最大の適応度が、あるしきい値より大きくなった。
- ・生物集団全体の平均の適応度が、あるしきい値より大きくなった。
- ・生物集団の適応度の増加率が、あるしきい値以下の世代が一定の期間以上続いた。
- ・世代交代の回数が、あらかじめ定めた回数に到達した。

【 0 0 5 2 】

上述の如き終了条件の何れかが満たされた場合は、ステップ S 1 9 へ進んで探索を終了し、その時点での生物集団中で最も適応度の高い個体を、求める最適化問題の解とする。終了条件が満たされない場合は、ステップ S 1 4 の各個体の適応度の計算の処理に戻って探索を続ける。このような世代交代の繰り返しによって、集団の個体数を一定に保ちつつ、個体の適応度を高めることが出来る。以上が一般的な遺伝的アルゴリズムの概略である。

【 0 0 5 3 】

上で述べた遺伝的アルゴリズムの枠組みは、実際のプログラミングの詳細を規定しない緩やかなものとなっており、個々の問題に対する詳細なアルゴリズムを規定するものではない。このため、遺伝的アルゴリズムを本実施例の光軸調整に用いるには、以下の項目を光軸調整用の実現する必要がある。

(a) 染色体の表現方法

- (b) 個体の評価関数
- (c) 選択淘汰方法
- (d) 交叉方法
- (e) 突然変異方法
- (f) 探索終了条件

【 0 0 5 4 】

図 1 0 は、本実施例における遺伝的アルゴリズムを用いた調整装置 5 の処理手順を示すフローチャートである。なお、この図 1 0 の処理は、図 6 のステップ S 2 ～ステップ S 5 の処理を具体的に示すものである。本実施例は、遺伝的アルゴリズムの染色体情報として、光軸の座標値の組を直接用いることを特徴としており、これにより、染色体の情報を座標値に変換するための処理等を不要とすることができ。また、このようにすることで、光軸座標値を逐次的に最適化するのではなく、すべての座標値を同時並列的に最適化することができる。

【 0 0 5 5 】

このことを図 9 を例に説明する。光軸の座標値が $(x, y, z, \theta x, \theta y)$ であったとき、遺伝的アルゴリズムの染色体は、基準位置 $(x_0, y_0, z_0, \theta x_0, \theta y_0)$ からの変位量 $(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta \theta x, \Delta \theta y)$ で記述される。つまり、光ファイバ先端における光軸座標値と遺伝的アルゴリズムの遺伝子データは一対一に対応することになる。

【 0 0 5 6 】

図 1 0 の処理で使用する、遺伝的アルゴリズムの個体の評価関数 F つまりは適応度としては、個体の染色体が表現する光軸座標値に光ファイバ 1 0 の光軸を変化させたのち、検出器 6 C によって観測された受光強度を表す関数を用いる。たとえば、検出器 6 C の評価信号が 6.2 mV であった場合、適応度の値は、 6.2 とする。

【 0 0 5 7 】

図 1 0 に示す処理で用いるために、ステップ S 2 1 で遺伝的アルゴリズムの初期集団として、一様乱数を用いて個体を複数作成する。つまりこの場合には、初期集団の各染色体の各遺伝子の値は上限値と下限値のあいだのランダムな実数値

をとることを意味する。但し、光軸の初期ずれ値の傾向について何らかの予備知識が存在する場合には、より適応度が高いと思われる個体を初期集団として作成することができる。

【0058】

そして、初期集団それぞれの個体について、染色体に示す値に応じて、順次光軸を変化させ、検出器6Cから送られてきた評価値から、適応度を設定する。つぎに、ステップS22の選択、ステップS23の交叉、ステップS24の突然変異、ステップ26A、26Bの局所学習の処理（後述する）、ステップS28の置換を行って、順次探索を行う。本手法においては、集団中の一部分の個体の置換を繰り返し行い、一般的な遺伝的アルゴリズムのように集団全部の個体を一斉に変化させない点が大きな特徴である。これにより、少ない集団の個体数で探索を行うことが可能である。

【0059】

しかして、ステップS3での判断で受光強度が所定値を超えたときに、調整処理は終了するが、一定世代数繰り返して調整処理をおこなっても所定値を超える染色体（光軸座標値）が得られない場合には、調整対象の光伝送路は不良品と判断され、図6のステップS7で不良品としての処理を行う。

【0060】

上記ステップS22の選択処理においては、集団からランダムに二つの親個体A、Bを選び、これらに対して遺伝的操作を行う。

【0061】

上記ステップS23の交叉処理では、選択によって選ばれた親個体A、Bに対して、図11の説明図に示す方法を用いる。これは染色体を、ランダムな位置で座標値をひとかたまりとして部分的に入れ替える操作であり、1点交叉と呼ばれる手法である。図11では、Ch1およびCh2が親個体A、Bの染色体であり、ここにおける交叉処理では、これらの染色体を、ランダムに選んだ交叉位置CPで切断する。図11の例では、左から2番目の遺伝子と3番目の遺伝子の間を交叉位置としている。そして、切断した部分的な遺伝子型を入れ替えることによって、染色体Ch3およびCh4をそれぞれ持つ子個体A'、B'を生成する。

なお、一点交叉のかわりに、二点交叉や一様交叉と呼ばれる手法を用いてもよい。

【 0 0 6 2 】

ステップ S 2 3 での交叉に引続いて実行する上記ステップ S 2 4 の突然変異は、子個体 A'、B' の染色体の各遺伝子にガウス分布 $N(0, \sigma)$ に従って発生させた正規乱数を加算する操作とした。図 1 2 に突然変異の例を示す。この図では、染色体 Ch 5 に対して、ガウス分布に従って発生させた正規乱数 N が加算されて染色体 Ch 6 に変更されている。なお、加算する乱数として、ガウス分布以外のコーシー分布などの他の分布を用いてもよい。

【 0 0 6 3 】

ステップ S 2 4 での突然変異が終了したのち、得られた子個体 A'、B' の染色体の値で、ステップ S 2 5 A およびステップ S 2 5 B において精密位置決め装置 4 を動作させそれぞれ光軸座標値を変化させ、子個体 A'、B' の適応度をステップ S 2 7 A およびステップ S 2 7 B で得る。

【 0 0 6 4 】

ただし、光軸座標値の変化には、検出器 6 C が受光強度を観測するのに要する時間と比較して、10 から 100 倍の時間を要する場合がある。そこで、この座標値変化を行っている最中にも検出器 6 C を動作させ、その観測値をもちいて効率的に探索を行う調整方法を発明した。その方法を局所学習と呼ぶことにし、ステップ S 2 6 A、ステップ S 2 6 B で実行してもよい。なお、検出器 6 C が受光強度を観測するのに要する時間が、光軸座標値を変化させるのに必要な時間と比較して大きい場合は、この局所学習はおこなわずに、ステップ S 2 8 の置換へと進む。【 0 0 6 5 】

上記ステップ S 2 6 A もしくはステップ S 2 6 B の局所学習処理は、図 1 3 の説明図に示す方法を用いる。この方法は、まずステップ S 4 1 で、精密位置決め機構 4 が動作して光軸の変化が開始され、ステップ S 4 2 で検出器 6 C により受光強度を観測し、それと同時に光軸座標値をステップ S 4 3 で計測する。計測する方法としては、サブミクロン単位で位置が計測可能な市販の位置センサを用いればよい。また、精密位置決め機構 4 にステップモータをもちいる場合は、位置

を計測せずに、送出するステップパルスと同期して検出器 6 C の観測を行うことで、光軸座標値を計算することができる。ステップ S 4 4 では、ステップ S 4 2 とステップ S 4 3 で得られた受光強度と光軸座標値を調整装置 5 内のメモリに保存する。

【 0 0 6 6 】

そしてステップ S 4 5 において、光軸座標値が染色体に対応した値になったと判定されるまで、上記ステップ S 4 2 ～ステップ S 4 4 を繰り返す。ステップ S 4 6 では、光軸座標値が染色体に対応した値になったと判定されたのち、メモリに保存された受光強度と光軸座標値の組のうち、もっとも評価関数 F（適応度）の値が大きくなる組、すなわち局所的な最適解、を選び出す。最後にステップ S 4 7 において、ステップ S 4 6 で選び出された組の光軸座標値を用いて染色体を書き換える。

【 0 0 6 7 】

上記局所学習処理において、調整対象の光軸の自由度が 2（X、Y）の場合の動作例を、図 1 4 を用いて説明する。まず、上記ステップ S 4 1 で光軸の変化を開始する前の光軸座標値が（X S， Y S）であったとする。そして、ステップ S 4 1 で目標とする染色体の示す光軸座標値が（X E， Y E）であるとする。このとき、ステップ S 4 2 からステップ S 4 5 のループにおいて、光軸座標値は、（X S， Y S）から（X E， Y E）へと精密位置決め装置によって徐々に変化させられる。そのときに、ステップ S 4 4 により、変更途中の光軸座標値と、その値に対応する観測結果の組が複数個メモリに保存される。

【 0 0 6 8 】

次に、ステップ S 4 6 において、メモリに保存された上記光軸座標値と観測値の組のうち、評価値（適応度）がもっとも大きくなる組を選び出す。この例の場合は、光軸座標値が（X M， Y M）のときに評価値が最大の F M をとるので、ステップ S 4 6 で（X M， Y M）の組が選ばれる。最後にステップ S 4 7 で、染色体の値が、光軸座標値（X M， Y M）に対応する値に書き換えられる。

【 0 0 6 9 】

図 1 4 の例の場合、局所学習を行わない場合は、光軸座標値が（X S， Y S）

のときと (X E, Y E) のときの二通りしか探索 (観測) を行わないので、評価値を FM にする光軸座標値 (X M, Y M) を発見することはできない。しかしながら、局所学習を行う場合は、光軸座標値変更中にも観測をおこなうので、(X S, Y S) (X M, Y M) 以外の複数の光軸座標値 (おおむね 1 0 から 1 0 0 個程度) において探索を行っているので、(X M, Y M) を発見することができる。さらに、この (X M, Y M) に対応した光軸座標値で染色体が書き換えられるので、探索効率が大幅に改善される。

【 0 0 7 0 】

上記ステップ S 2 5 A からステップ S 2 7 A において子個体 A' の適応度が算出され、上記ステップ S 2 5 B からステップ S 2 7 B において子個体 B' の適応度が算出された。つぎに、ステップ S 2 8 において、図 1 5 に示すフローチャートに従って個体の置換操作が行われる。この操作では、まずステップ S 3 1 において、親個体 A, B と子個体 A'、B' の 4 個体のうち、適応度の値が高い上位二つの個体 C、D が選ばれる。次に、ステップ S 3 2 において、集団内の親個体 A、B と、個体 C、D を置換する。この手法では、親個体が子個体よりも適応度が高い場合は、置換は行われないので、淘汰圧が高く、探索の収束時間がはやくなる。なお、上記置換方法以外にも、一般的な世代モデルの選択淘汰方法や、近傍モデル G A や非世代モデル G A とよばれる公知の選択淘汰方法を用いてもよい。

【 0 0 7 1 】

上記の選択、交叉、突然変異、評価、局所学習、置換の操作を繰り返し、ステップ S 3 での判断で受光強度が目標値を超えたときに、調整処理は終了する。なお、遺伝的アルゴリズムは探索の終盤に、探索速度がおちる場合がある。それは、大域探索手法であるため、ある局所ピークに到達する速度では、山登り法にはかなわないためである。よって、探索時間をさらに短縮するために、遺伝的アルゴリズムによって調整を行ったのちに、微調整方法として山登り法を組み合わせてもよい。遺伝的アルゴリズムから山登り法に切り替える判断基準は、たとえば、当初の受光強度の目標値の 9 0 % を遺伝的アルゴリズムによって達成した時点などとすればよい。

【0072】

上述したように、本実施例の光軸調整方法では、光ファイバ10の光軸座標を、受光素子11の受光強度が最大となるように遺伝的アルゴリズムに従って探索する。従って、熟練者による精度の高い手動の調整を必要とすることなく、さらには局所的なピークにとらわれることなく短時間で光軸を自動的かつ並列的に調整することができる。このことは、光モジュールの生産工程において、作業性、生産性を著しく向上させることを意味する。

【0073】

次に、図16は本発明の第2実施例の構成を示すもので、光学部品として光ファイバアレイと平板型光導波路を含む光伝送路1の光軸調整に本発明の光軸調整方法を適用した例である。このようなアレイ同士の接続は実用上よく行われる。

【0074】

図16中、15が光ファイバアレイであり、16が平板型光導波路である。6Aは光パワーメータであり、光導波路通過後の光強度を計測し、評価信号3として調整装置5に引き渡す。9は光切替器（後述する）であり、その他の構成要素は実施例1と同様の符号を付してある。この実施例においては、光ファイバアレイ15の光軸が、精密位置決め装置4を用いて、光伝送路通過後の光の評価値が最大になるように調整装置5によって遺伝的アルゴリズムに従い最適化される。

【0075】

光ファイバアレイ15の光軸座標値は、直交座標系X軸、Y軸、Z軸のそれぞれの方向の変位量 x 、 y 、 z と、X軸を中心とした回転の量 θx 、Y軸を中心とした回転の量 θy 、Z軸を中心とした回転の量 θz の合計6自由度になる。実施例1と同様に、これら光軸座標値と遺伝的アルゴリズムの遺伝子データは一対一に対応させられる。つまり、図9の例と同様に、光軸の座標値が（ x 、 y 、 z 、 θx 、 θy 、 θz ）であったとき、遺伝的アルゴリズムの染色体は、基準位置（ x_0 、 y_0 、 z_0 、 θx_0 、 θy_0 、 θz_0 ）からの変位量（ Δx 、 Δy 、 Δz 、 $\Delta \theta x$ 、 $\Delta \theta y$ 、 $\Delta \theta z$ ）で記述される。

【0076】

本実施例では、光伝送路を通過した光の評価値として、光導波路アレイの両端

の光軸を通る伝送光強度の和を用いる。さらに精密な光軸調整を行いたい場合は、アレイの全軸を通る伝送光の強度の和を評価値としてもよい。

【0077】

この実施例の光軸調整方法は、基本的には先の第1実施例の調整方法と同様である。光伝送路1が設置された後、調整工程で、図16に示すように、光源7、調整装置5、精密位置決め装置4、観測装置6Aがそれぞれ配置される。そして、図6、図10に示したフローチャートに従い光軸調整を行う。

【0078】

なお本実施例には、光伝送路1に、ミラーを利用した光切替器9が設置されている。この光切替器9を操作すると、平板型光導波路16の出力光が光パワーメータ6Aに入力されるとともに、調整装置5が動作を開始し、光軸調整を開始する。調整が終了したら、光切替器9の操作で、光伝送路1の出力光を本来の出力光路側に切り替える。

【0079】

この光切替器9によれば、光伝送路1の設置後の光軸調整だけでなく、ユーザが光伝送路1を組み込んだ光学製品を購入した後、ユーザ自身が光伝送路1の光軸調整を随時行うこともできる。これにより、光学製品を移動運搬した場合や、光学製品が置かれた環境の温度その他が変化した場合等に、その変化を補償することができる。

【0080】

本実施例の方法によれば、光ファイバアレイ10の光軸座標を、光導波路アレイの両端の光軸を通る伝送光強度の和が最大となるように遺伝的アルゴリズムに従って探索する。従って、熟練者による精度の高い手動の調整を必要とすることなく、さらには局所的なピークにとらわれることなく短時間で光軸を自動的に調整することができる。このことは、光伝送路1が組み込まれた光学製品の生産工程において、作業性、生産性を著しく向上させることを意味する。

【0081】

本実施例においては平板型の光ファイバアレイおよび光導波路アレイを調整対象としたが、本実施例の調整方法を図17に示したような freespace 光学系

における二次元ファイバアレイ 1 5 A と二次元レンズアレイ 1 4 A との光軸調整にも同様に適用することが可能である。

【 0 0 8 2 】

次に、図 1 8 は本発明の第 3 実施例の構成を示すもので、光学部品として発光素子、レンズ、光ファイバを含む光伝送路 1 の光軸調整に本発明の光軸調整方法を適用した例である。このような複数部品が一体となった光モジュールの組み立ては実用上よく行われる。

【 0 0 8 3 】

図 1 8 中、1 2 が発光素子であり、1 4 F、1 4 R がレンズである。6 A は光パワーメータであり、光ファイバ 1 0 の透過光の強度を計測し、評価信号 3 とし調整装置 5 に引き渡す。その他の構成要素は実施例 1 と同様の符号を付してある。この実施例においては、二つのレンズの光軸が、精密位置決め装置 4 を用いて、光伝送路通過後の光の評価値が最大になるように調整装置 5 によって遺伝的アルゴリズムに従い最適化される。

【 0 0 8 4 】

レンズの光軸座標値は、直交座標系 X 軸、Y 軸、Z 軸のそれぞれの方向の変位量 x 、 y 、 z と、X 軸を中心とした回転の量 θx 、Y 軸を中心とした回転の量 θy の 5 自由度であり、これがふたつのレンズに独立に存在するので合計 1 0 自由度となる。実施例 1 と同様に、これら光軸座標値と遺伝的アルゴリズムの遺伝子データは一対一に対応させる。つまり、図 9 の例と同様に、光軸の座標値が (x_f 、 y_f 、 z_f 、 θx_f 、 θy_f 、 x_r 、 y_r 、 z_r 、 θx_r 、 θy_r) であったとき、遺伝的アルゴリズムの染色体は、基準位置 (x_{f0} 、 y_{f0} 、 z_{f0} 、 θx_{f0} 、 θy_{f0} 、 x_{r0} 、 y_{r0} 、 z_{r0} 、 θx_{r0} 、 θy_{r0}) からの変位量 (Δx_f 、 Δy_f 、 Δz_f 、 $\Delta \theta x_f$ 、 $\Delta \theta y_f$ 、 Δx_r 、 Δy_r 、 Δz_r 、 $\Delta \theta x_r$ 、 $\Delta \theta y_r$) で記述される。

【 0 0 8 5 】

精密位置決め機構 4 としては、 piezo 素子をもちいた微小位置位置決め機構や、マイクロマシン技術を用いた位置決め機構を用いてもよい。発光素子 1 2 としては、半導体レーザや LED 等が用いられる。

【 0 0 8 6 】

本実施例では、光伝送路を通過した光の評価値として、光ファイバ 1 0 の透過光強度をそのまま用いる。

【 0 0 8 7 】

この実施例の光軸調整方法は、基本的には先の第 1 実施例の調整方法と同様である。光伝送路 1 が設置された後、調整工程で、図 1 8 に示すように、調整装置 5、観測装置 6 A がそれぞれ配置される。そして、図 6、図 1 0 に示したフローチャートに従い光軸調整を行う。

【 0 0 8 7 】

本実施例の方法によれば、ふたつのレンズ 1 4 F、1 4 R の光軸座標を、光ファイバ 1 0 の透過光強度が最大となるように遺伝的アルゴリズムに従って探索する。従って、熟練者による精度の高い手動の調整を必要とすることなく、さらには局所的なピークにとらわれることなく短時間で多自由度の光軸を自動的に調整することができる。このことは、光モジュールの生産工程において、作業性、生産性を著しく向上させることを意味する。

【 0 0 8 8 】

本実施例においてはレンズの光軸を調整したが、レンズの代わりに分布屈折率部品を用いた場合の光軸調整にも本発明を同様に適用することが可能である。

【 0 0 8 9 】

次に、図 1 9 は本発明の第 4 実施例の構成を示すもので、光学部品として発光回路と受光回路を含み、空気中にレーザ光を伝送させる経路を含む光伝送路 1 の光軸調整に本発明の光軸調整方法を適用した例である。

【 0 0 9 0 】

図 1 9 中、1 7 が発光回路、1 8 が受光回路であり、8 が発光回路 1 7 から受光回路 1 8 に光信号を伝送するレーザ光であり、空気中を通過する。発光回路 1 7 は、送信データ S D を電気信号から光信号（伝送光 8）に変換する回路であり、精密位置決め装置 4 によって、その発射位置および姿勢を決められるようになっている。受光回路 1 8 は、光信号（伝送光 8）を電気信号に変換し、受信データ R D を出力する。また、6 E は受光量検出回路であり、受光回路 8 からの電気

信号波形の最大振幅値を検出する回路で、その結果を評価信号 3 として調整装置 5 に引き渡す。その他の構成要素は実施例 1 と同様の符号を付してある。この実施例においては、発光回路 1 7 の発射位置の光軸が、精密位置決め装置 4 を用いて、受光量検出回路 6 E の評価値が最大になるように調整装置 5 によって遺伝的アルゴリズムに従い最適化される。

【 0 0 9 1 】

発光回路 1 7 の光軸座標値は、直交座標系 X 軸、Y 軸、Z 軸のそれぞれの方向の変位量 x 、 y 、 z と、X 軸を中心とした回転の量 θx 、Y 軸を中心とした回転の量 θy の 5 自由度となる。実施例 1 と同様に、これら光軸座標値と遺伝的アルゴリズムの遺伝子データは一对一に対応させる。つまり、図 9 の例と同様に、発光回路 1 7 の光軸の座標値が $(x, y, z, \theta x, \theta y)$ であったとき、遺伝的アルゴリズムの染色体は、基準位置 $(x_0, y_0, z_0, \theta x_0, \theta y_0)$ からの変位量 $(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta \theta x, \Delta \theta y)$ で記述される。

【 0 0 9 2 】

本実施例では、光伝送路を通過した光の評価値は、受光量検出回路 6 E の出力をそのまま用いる。

【 0 0 9 3 】

この実施例の光軸調整方法は、基本的には先の第 1 実施例の調整方法と同様である。光伝送路 1 が設置された後、調整工程で、図 1 9 に示すように、精密位置決め装置 4、調整装置 5、観測装置 6 E がそれぞれ配置される。そして、図 6、図 1 0 に示したフローチャートに従い光軸調整を行う。

【 0 0 9 4 】

本実施例の方法によれば、発光回路 1 7 の光軸座標を、受光回路 1 8 の受光強度が最大となるように遺伝的アルゴリズムに従って探索する。従って、熟練者による精度の高い手動の調整を必要とすることなく、さらには局所的なピークにとらわれることなく短時間で多自由度の光軸を自動的に調整することができる。それにより、光伝送路の設置工程において、作業性を著しく向上させることを意味する。

【 0 0 9 5 】

本実施例の調整方法を、電子部品実装装置などにおける実装ヘッド部と固定部との間の信号伝達装置などに用いた場合、信号の授受をコンパクトな構成で行うことができ、装置の小型化というさらなる効果を得られる。

【0096】

なお、上記実施例においては、説明を簡単にするため、一方向にレーザ光を送送する例を示したが、発光回路17と受光回路18をそれぞれ備えて双方向に送受信する光信号伝送路においても適用できることは言うまでもない。また上記実施例では、レーザ光が、発光回路17から直接に受光回路18に伝送されたが、複数の固定ミラーを介して伝送されてもよい。

【0097】

次に、図20は本発明の第5実施例の構成を示すもので、空気中にレーザ光を送送させ目標物に照射する経路において、複数の可動ミラーを含む光伝送路1の光軸調整に本発明の光軸調整方法を適用した例である。この光軸調整の目的は、レーザ光の照射位置が目標地点になるべく近くなるようにすることである。

【0098】

図19中、7Lがレーザ光源、8がレーザ光である。13Aおよび13Bは自動調整ミラーであり、ミラー微調整機構4Aおよび4Bによって、光軸が微調整できるようになっている。6Bは光位置ずれ量計測装置であり、自動調整ミラーを介して伝送されたレーザ光8の目標照射位置からのずれを検出する装置で、その結果を評価信号3として調整装置5に引き渡す。その他の構成要素は実施例1と同様の符号を付してある。この実施例においては、自動調整ミラー13Aおよび13Bの光軸が、ミラー微調整機構4Aおよび4Bを用いて、光位置ずれ量が最小になるように調整装置5によって遺伝的アルゴリズムに従い最適化される。

【0099】

自動調整ミラーの光軸座標値は、直交座標系X軸、Y軸、Z軸のそれぞれの方向の変位量 x 、 y 、 z と、X軸を中心とした回転の量 θ_x 、Y軸を中心とした回転の量 θ_y の5自由度となり、ふたつのミラー13A、13Bで合計10自由度となる。このときの遺伝的アルゴリズムの染色体は遺伝子データとして二つの光

軸座標値で記述される。また、それぞれの変位量が互いに独立ではなく依存関係にあってもよい。一般的に、それぞれの変位量が独立になるように自動調整ミラーおよびミラー微調整機構を設計するのは非常に難しく時間がかかり、また剛性の高い部品を使用するために製造コストもかかる。しかし、本発明によれば、変位量が依存関係にあっても、遺伝的アルゴリズムによって調整が可能であるから、設計時間および製造コストを削減することができる。

【0100】

ミラー微調整機構4Aおよび4Bは、 piezo素子による駆動機構あるいはガルバノメータによる駆動機構を用いれば良い。光位置ずれ量計測装置6Bでは、PSD (Position Sensitive Detectors) 素子あるいは分割型フォトダイオード素子を用いた光位置検出素子や、CCDカメラによる撮像と画像処理を組み合わせた光位置検出装置を用いて、目標照射位置からのずれを算出する。

【0101】

本実施例では、光伝送路を通過した光の評価値は、光位置ずれ量計測装置6Bによる光位置ずれ量の出力をそのまま用いる。たとえば、光位置ずれ量計測装置6Bの出力が、8.9mmであったとき、評価値は8.9となる。この場合の探索問題は、この評価値が小さければ小さいほどよい、最小化問題である。

【0102】

この実施例の光軸調整方法は、基本的には先の第1実施例の調整方法と同様である。光伝送路1が設置された後、調整工程で、図20に示すように、調整装置5、観測装置6Bがそれぞれ配置される。そして、図6、図10に示したフローチャートに従い光軸調整を行う。

【0103】

本実施例の方法によれば、自動調整ミラー13A、13Bの光軸座標を、目標照射位置からの光位置ずれ量が最小となるように遺伝的アルゴリズムに従って探索する。従って、熟練者による精度の高い手動の調整を必要とすることなく、さらには局所的なピークにとらわれることなく短時間で多自由度の光軸を自動的に調整することができる。また、放射線環境下や、高温環境下のように人が光伝送

路 1 に近づけない場合や、遠隔地から調整しなければならない場合においても、自動調整をすることができるので、光伝送路の設置工程において、作業性を著しく向上させることを意味する。

【0104】

また、ミラーのサイズが大きい場合など、ミラーの光軸変位量が軸間で互いに独立でない場合においても、評価関数の局所的なピークを避けて調整をすることができる。さらに、光軸調整時に、外部からの機械的な雑音、振動等によって光軸ずれが生じたり、空気のゆらぎ等によって光の評価値に雑音がのる場合においても、遺伝的アルゴリズムは勾配を用いない探索方法であり、かつ多点探索方法であるので、有効な探索をすることができる。つまり、一般的な勾配を用いる探索方法では、雑音により勾配値が大きく変化し、多点探索でないために、探索が誤った方向に進んだまま収束しなくなってしまう。一方、遺伝的アルゴリズムは探索に勾配を用いていないので誤った方向に進みにくく、さらに多点探索であるために、仮にある個体の評価値が雑音によって一時的に悪化しても、複数の個体の評価値が存在しているために、集団全体としては収束の方向に向かう。

【0105】

上述の第 1 から第 5 実施例では、確率的探索手法として遺伝的アルゴリズムを用いた。しかしながら、遺伝的アルゴリズムにおける適応度、つまり、光軸座標値が理想的な値にどのくらい近いかを表す評価関数 F において、局所的な最適解の個数が少ない場合（おおむね一桁の個数）には、焼きなまし法とよばれるアルゴリズムを遺伝的アルゴリズムの代わりに用いることができる。また、局所的な最適解の個数が多い場合でも、遺伝的アルゴリズムと比較して調整の結果得られる性能は低下するが高速に探索することができる。

【0106】

焼きなまし法の詳細は、例えば、JOHN WILEY & SONS が 1989 年に出版した、E. Aarts and J. Korst 著の「Simulated Annealing and Boltzmann Machines」を参照されたい。焼きなまし法は、山登り法的一种であり、温度と呼ばれる制御パラメータによって、局所的な最適解に探索が捕らわれないような工夫を加

えたものである。

【0107】

次に述べる本発明の第6実施例の光軸調整方法では、図6に示すように、先の第1実施例と同様の構成において、調整装置5で、この焼きなまし法にしたがって光軸座標値を変更する。ここではまた、解候補が理想的な解にどのくらい近いかを表す評価関数Fとして、検出器6Cによって観測された受光強度を表す関数を用いる。

【0108】

すなわち本実施例の方法では、図6に示すステップS2における検出器6Cの評価値を直接に評価関数Fの値とし、ステップS3において調整装置5で、評価関数Fの値が目標をこえたか否かを判断する。こえていない場合は、図21に示す、ステップS51において、この評価関数値が、前ループにおける評価関数値と比較して値が改善されたか否かを判断する。

【0109】

そして、改善された場合は、その時点での光軸座標値を次の光軸座標候補値とし、ステップS54へ進んで、その光軸座標候補値に対し、その候補値の一部を変化させる操作を施す。この操作は遷移と呼ばれる。本実施例では、焼きなまし法の遷移として、図12で説明した遺伝的アルゴリズムにおける突然変異方法と同一の方法を用いる。

【0110】

ステップS51において、値が改善されなかった場合は、ステップS52で、受容関数と呼ばれる、値域が0以上1以下である後述の関数の値を計算する。この関数値と0～1の間で発生させた一様乱数の実数値とを比較して、乱数値の方が小さかった場合は、遷移結果を受容するものとして前述のステップS54へ進む。この場合には、評価関数の改悪方向に、探索が一時的に行われることになる。受容関数値より乱数値の方が大きかった場合は、ステップS53でレジスタ候補値を前ループにおけるレジスタ値に戻した後、ステップS54へ進む。

【0111】

ループkにおける受容関数値は、以下の(1)式で記述される。式中のF(k

－ 1) は前ループにおける評価関数値、 $F(k)$ は現ループにおける評価関数値である。また、 $T(k)$ は温度と呼ばれるパラメータである。

【 0 1 1 2 】

【 数 1 】

$$\exp\left(\frac{F(k)-F(k-1)}{T(k)}\right) \quad \dots \quad (1)$$

【 0 1 1 3 】

パラメータ $T(k)$ は温度が高いほど受容関数値が 1 に近づく。つまり、温度が高いほど、探索が評価関数の改悪方向に進むことになる。これは、探索が局所的な最適解に捕われることを避ける目的で行われる。よって、探索の初期の段階では温度を高く設定し、探索が進むにつれて温度を徐々に低くしていくことにより、最終的に真の最適解にたどりつくことが期待される。かかる操作が、焼きなまし、またはアニーリングと呼ばれている。

【 0 1 1 4 】

焼きなまし法は、光軸の自由度が小さく多数の局所最適解をもたない場合には、遺伝的アルゴリズムと比較して効率的な探索を行うことができる。しかしながら、評価関数 F が多数の局所最適解をもつ場合には、現実的な探索時間では局所最適解にとらわれてしまい、遺伝的アルゴリズムほどの性能をえることはできない。ただし、収束までに要する時間が短くてすむという利点がある。

【 0 1 1 5 】

その後はステップ S 5 5 で、光軸座標値の変化を開始し、ステップ S 5 6 で、図 1 3 で説明した遺伝的アルゴリズムで用いた局所学習処理を行う。評価関数値が高く満足な受光素子強度が得られるまで上述の操作を繰り返すことにより、光ファイバ 1 0 の光軸調整を行う。

【 0 1 1 6 】

一定回数、または一定時間繰り返して上記の処理をおこなっても満足な解が得られない場合は、調整対象の光伝送路は不良品と判断され、ステップ S 7 において不良品としての処理を行う。

【0117】

なお温度は、たとえば次の(2)の式にしたがって変化させる。

$$T(k) = 0.1 / (k + 1) \cdots \cdots (2)$$

【0118】

上記の焼きなまし法により、遺伝的アルゴリズムと比較して得られる性能は低いものの、高速に光軸調整を行うことができる。本実施例は、第1の実施例に示す光伝送路に使用される場合を例に説明したが、言うまでもなく、光伝送路が第2から第5の実施例に示されるように一般のものであってもよく、同様にして、遺伝的アルゴリズムと比較して得られる性能は低いものの、高速に光軸調整を行うことができる。

【0119】

本発明は、いうまでもなく、複数の光学部品を含んだ光伝送路の全体、一部、あるいは複数の部分の何れにもに適応可能であり、光伝送路の規模を問わず、それらの応用は本発明の範囲から除外されるものではない。例えば、本発明を物体の変位測定に用いる光てこ方式の光学系における半導体レーザ、ミラー、受光素子間の光軸調整に適用することができる。

【0120】

以上、図示例に基づき説明したが、この発明は上述の例に限定されるものでなく、特許請求の範囲の記載の範囲内で当業者が容易に改変し得る他の構成をも含むものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 光ファイバの接続損失発生要因を説明するための説明図である。

【図2】 光ファイバの座標系を説明するための説明図である。

【図3】 従来例の山登り法を説明するための説明図である。

【図4】 従来例の山登り法の問題点を説明するための説明図である。

【図5】 本発明の光軸調整方法の第1実施例の構成を例示する構成図である。

【図6】 本発明の光軸調整方法の第1実施例の処理手順の概略を示すフローチ

ャートである。

【図 7】 一般的な遺伝的アルゴリズムの手順の概略を示すフローチャートである。

【図 8】 遺伝的アルゴリズムで用いる染色体を例示する説明図である。

【図 9】 上記実施例の方法における遺伝的アルゴリズムで用いる染色体とそこから定まる光軸座標値とを示す説明図である。

【図 10】 上記実施例の方法における遺伝的アルゴリズムを用いた処理手順を示すフローチャートである。

【図 11】 上記実施例の方法における遺伝的アルゴリズムで行う交叉処理の手順を示す説明図である。

【図 12】 上記実施例の方法における遺伝的アルゴリズムで行う突然変異処理の手順を示す説明図である。

【図 13】 上記実施例の方法における遺伝的アルゴリズムで行う局所学習の手順を示すフローチャートである。

【図 14】 上記局所学習方法の動作を例示する説明図である。

【図 15】 上記実施例の方法における遺伝的アルゴリズムで行う置換処理の手順を示すフローチャートである。

【図 16】 本発明の光軸調整方法の第 2 実施例の構成を例示する説明図である。

【図 17】 上記実施例を適用可能な 2 次元ファイバアレイの構成を例示する説明図である。

【図 18】 本発明の光軸調整方法の第 3 実施例の構成を例示する説明図である。

【図 19】 本発明の光軸調整方法の第 4 実施例の構成を例示する説明図である。

【図 20】 本発明の光軸調整方法の第 5 実施例の構成を例示する説明図である。

【図 21】 本発明の光軸調整方法の第 6 実施例における焼きなまし法を用いた処理手順を示すフローチャートである。

【符号の説明】

- 1 光伝送路
- 2 制御信号
- 3 評価信号
- 4 精密位置ぎめ装置
- 5 調整装置
- 6 観測装置
- 7 光源
- 8 伝送光
- 9 光切替器
- 1 0 光ファイバ
- 1 1 受光素子
- 1 2 発光素子
- 1 3 ミラー
- 1 4 レンズ
- 1 5 光ファイバアレイ
- 1 6 光導波路
- 1 7 発光回路
- 1 8 受光回路
- 1 9 伝送リード線
- 4 A、4 B ミラー微調整装置
- 5 D 読み取り装置
- 6 A 光パワーメータ
- 6 B 光位置ずれ量計測装置
- 6 C 検出器
- 6 D リード線
- 6 E 受光量検出回路
- 7 L レーザ光源
- 1 3 A、1 3 B 自動調整ミラー

1 4 A 2 次元レンズアレイ

1 4 F、1 4 R レンズ

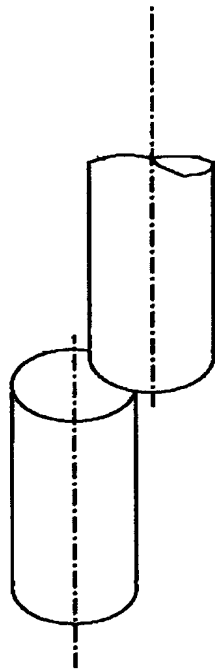
1 5 A 2 次元ファイバアレイ

R S 受光信号

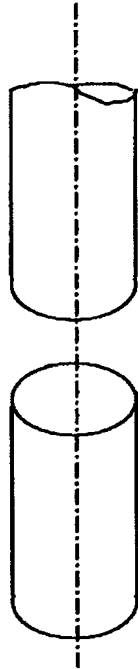
S D 送信データ

【書類名】 図面

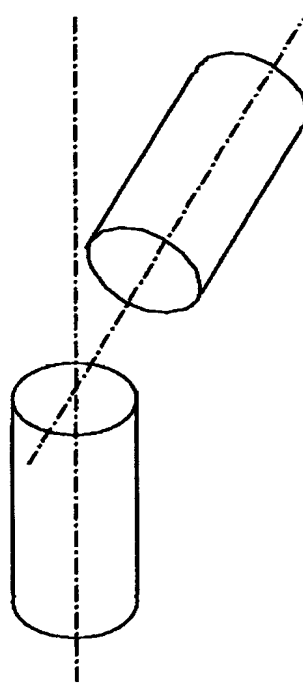
【図 1】



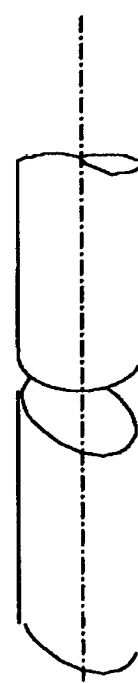
(a) 軸ずれ



(b) 間隙

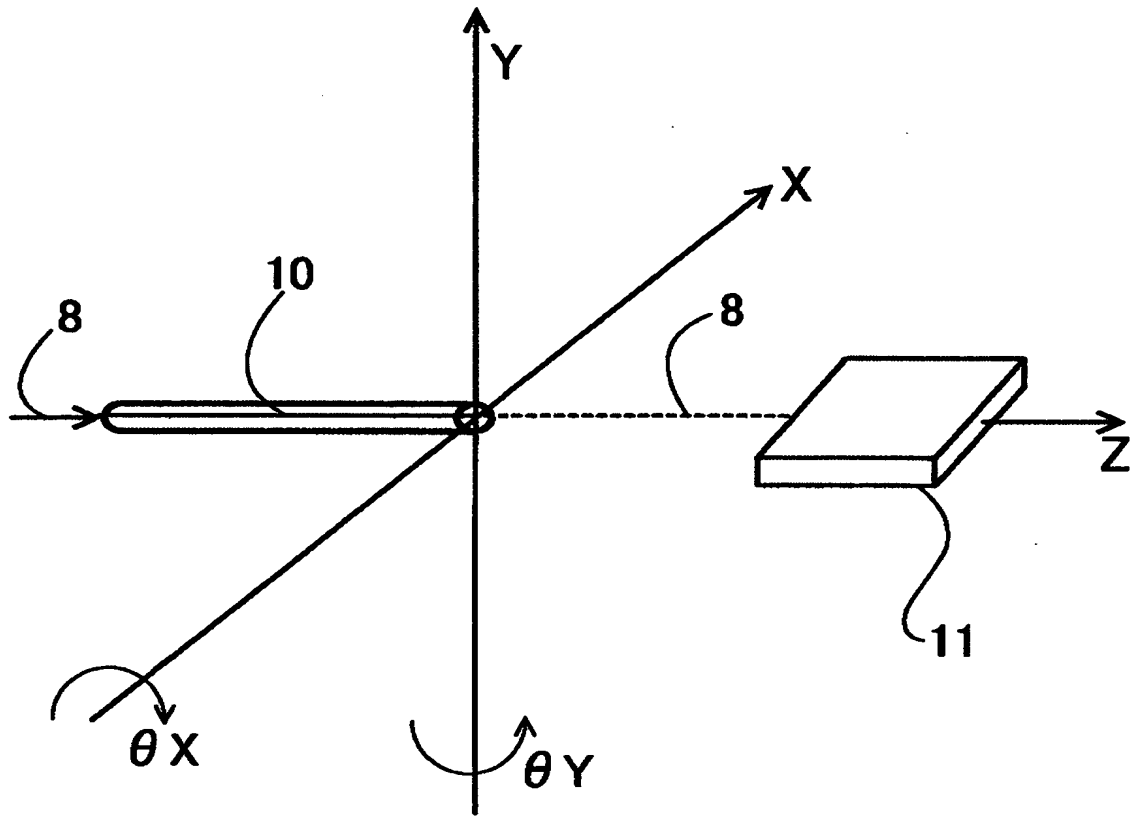


(c) 折れ曲がり

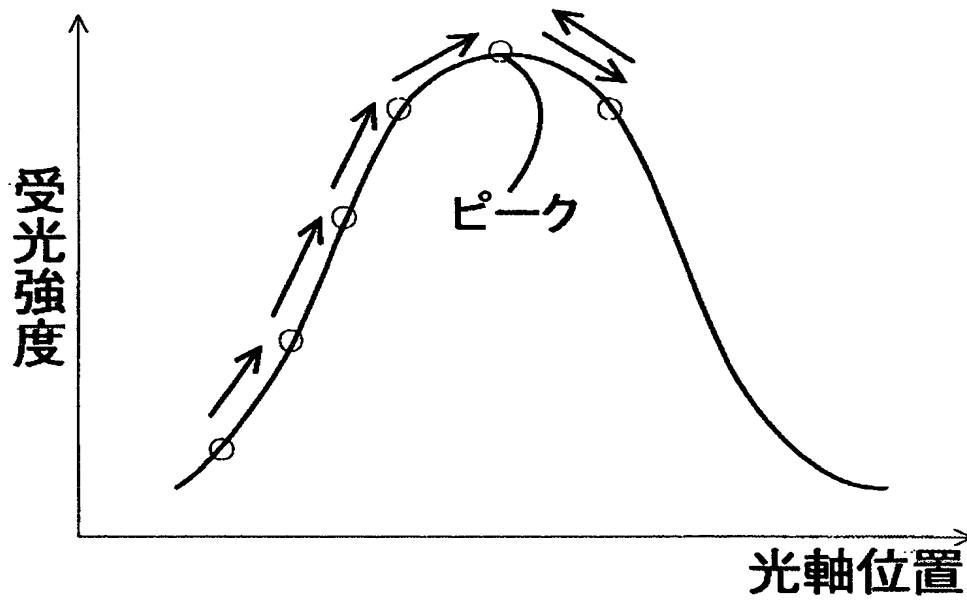


(d) 端面の不完全性

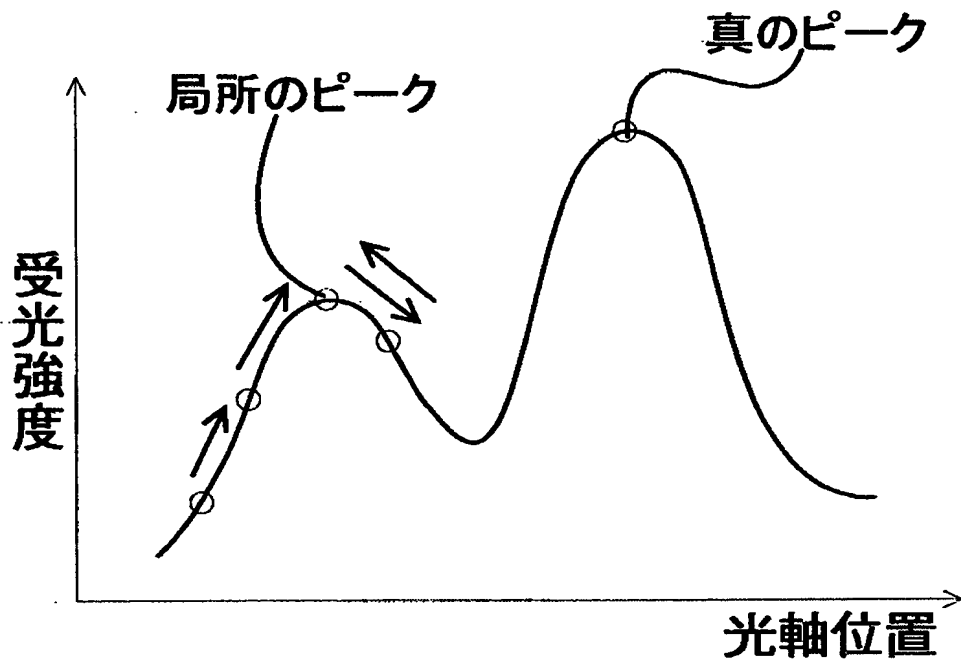
【図 2】



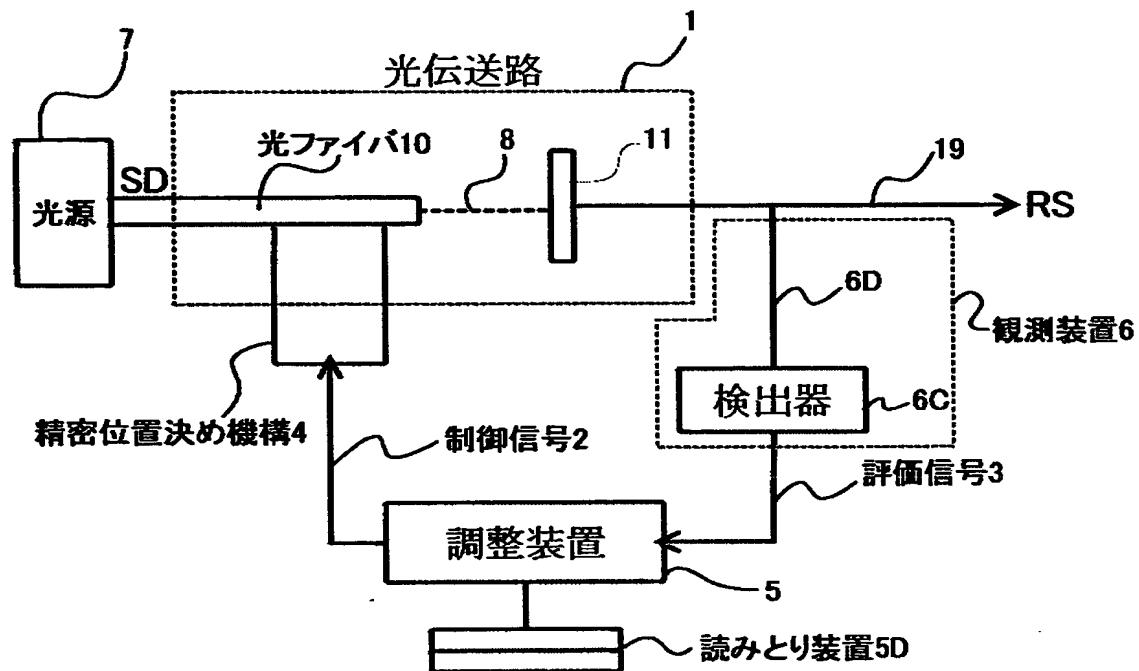
【図 3】



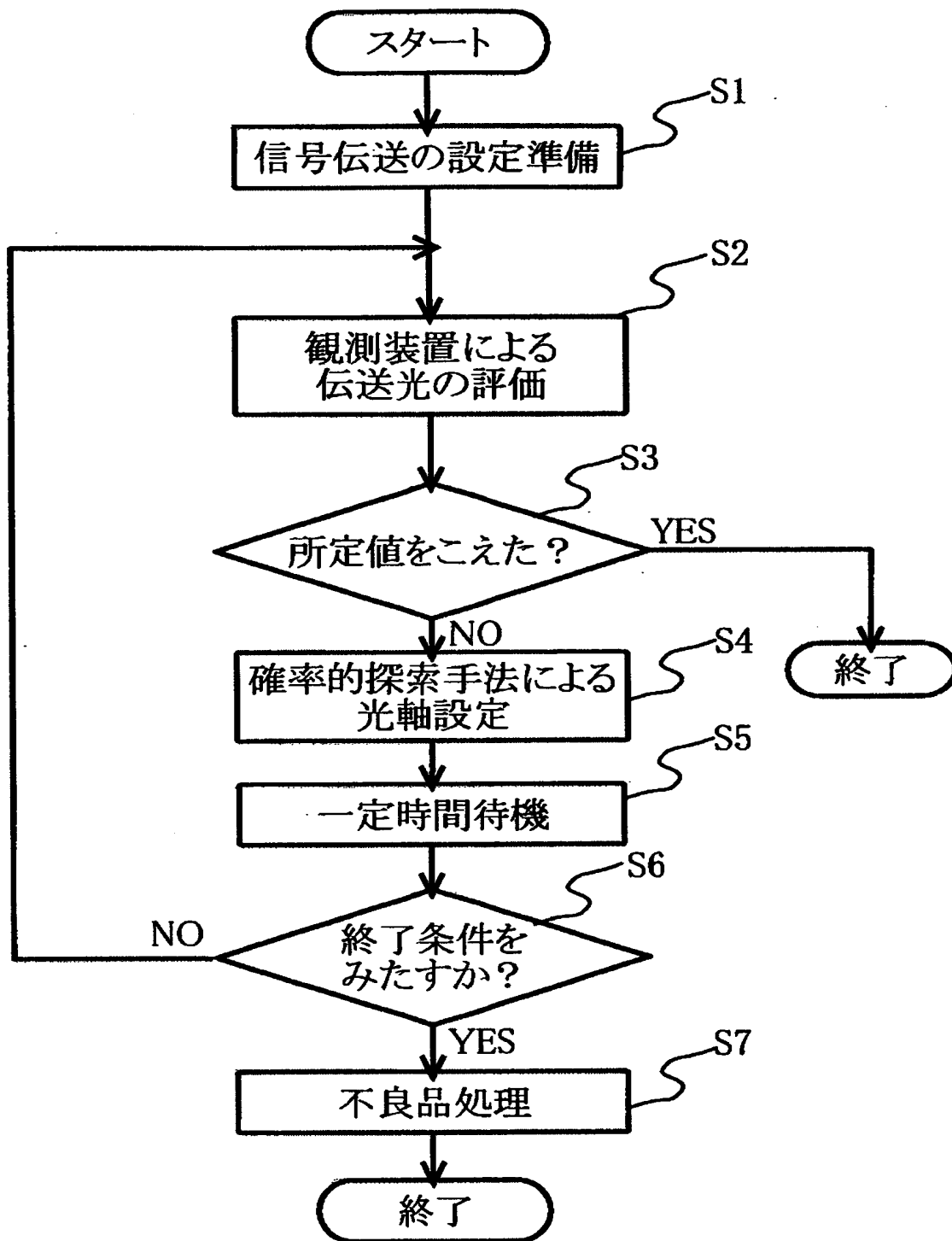
【図4】



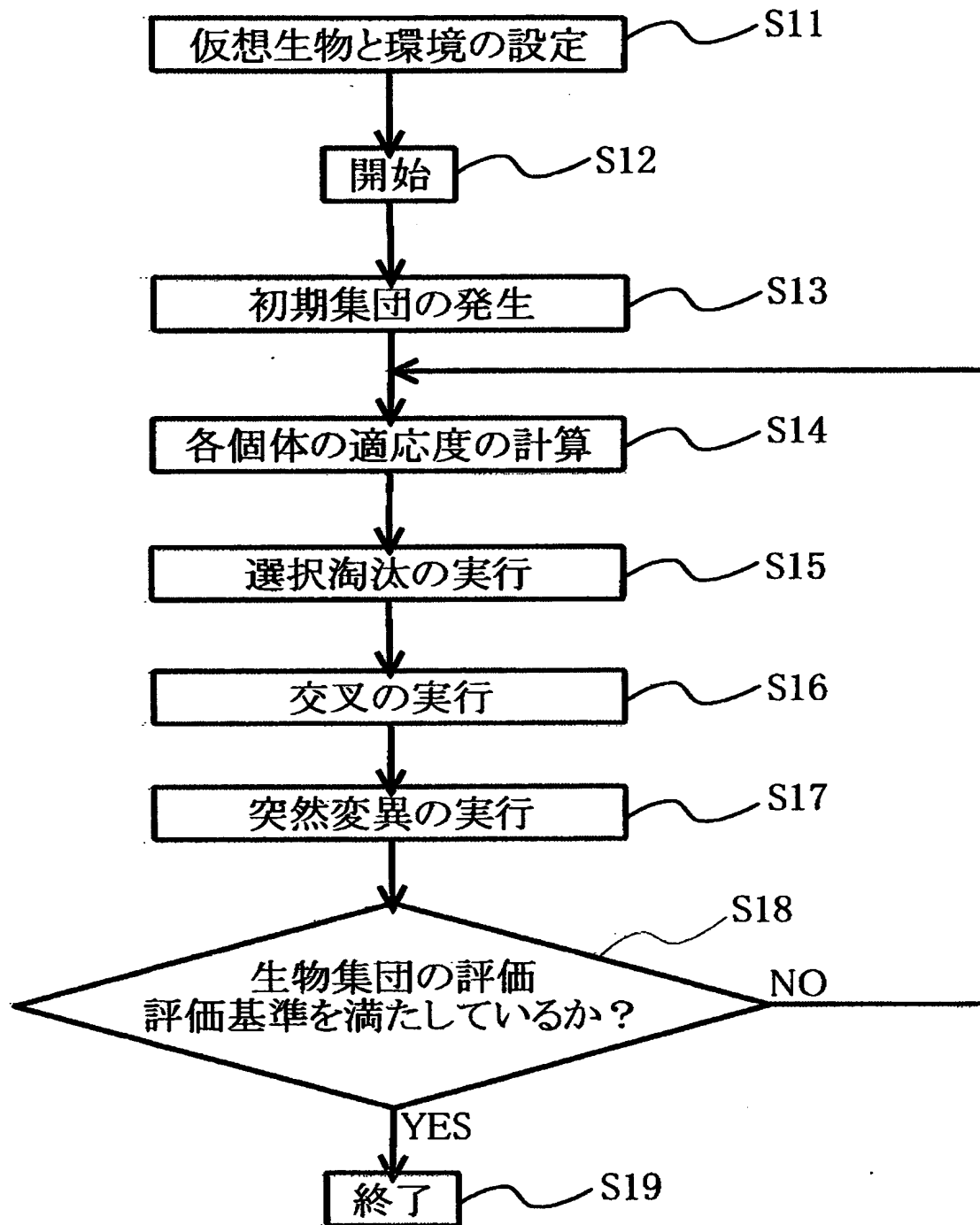
【図5】



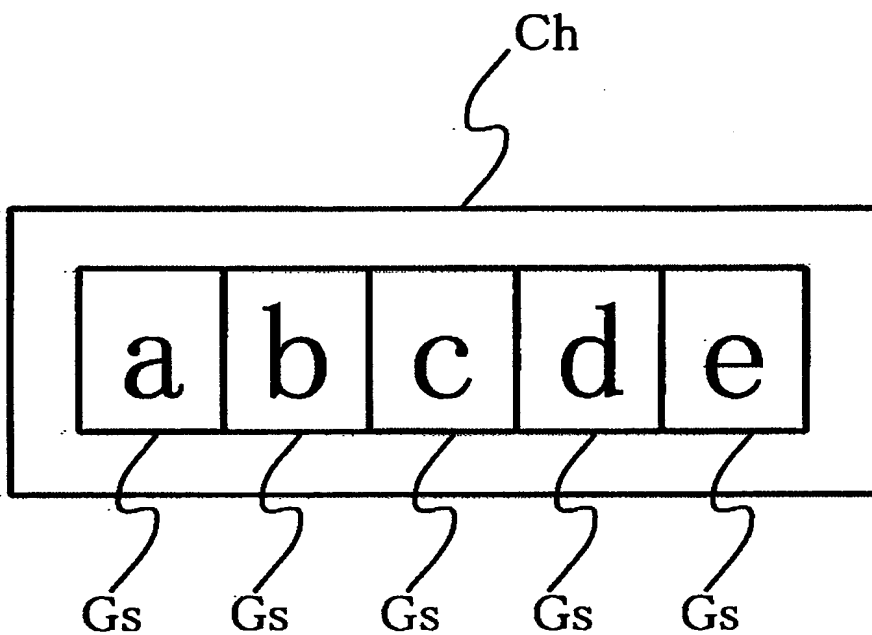
【図6】



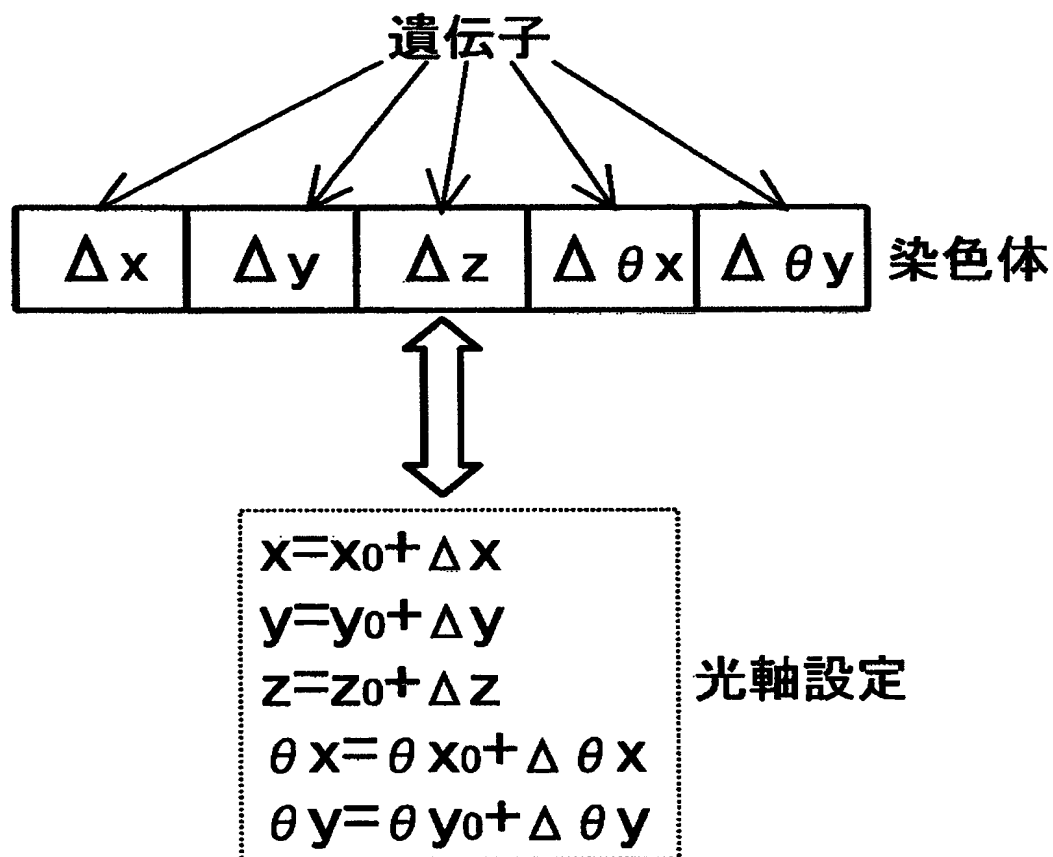
【図7】



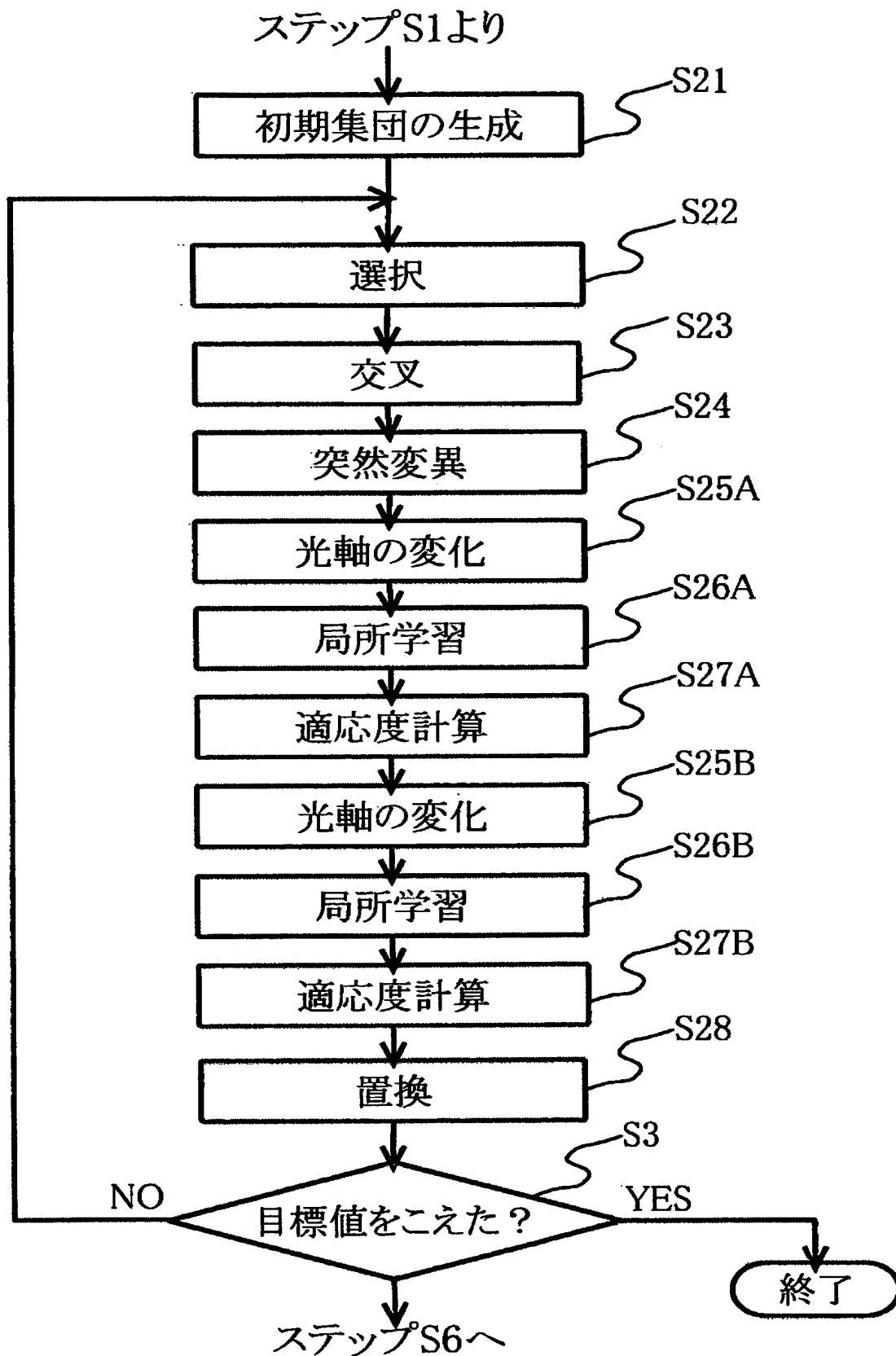
【図8】



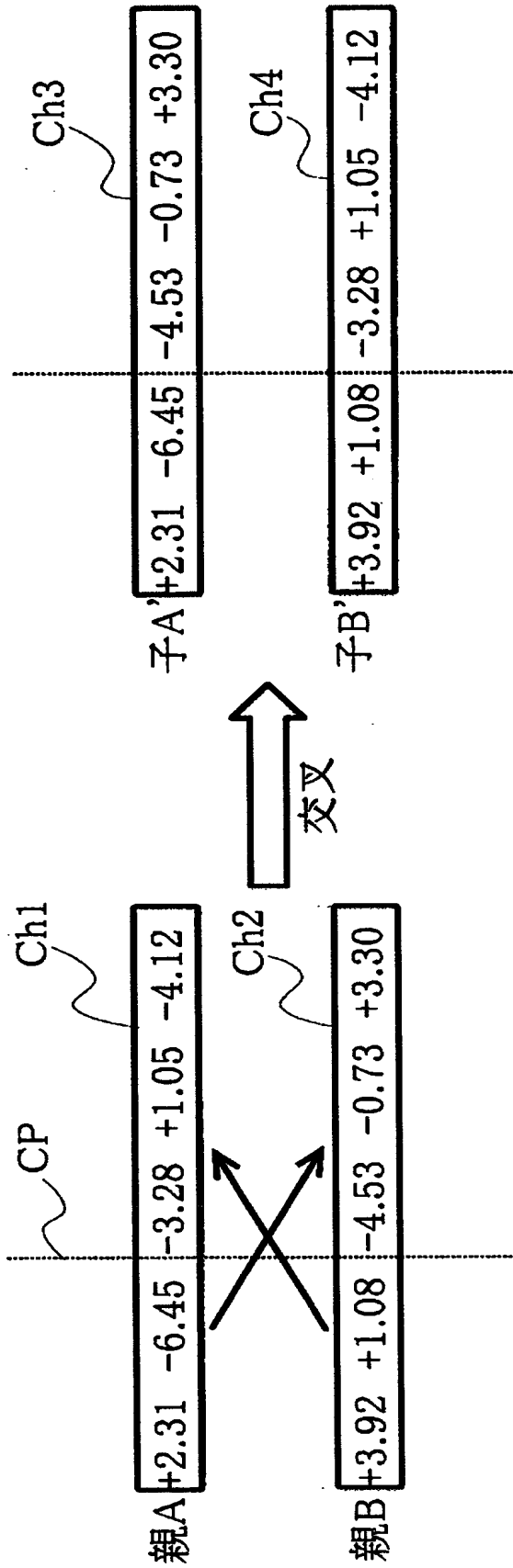
【図9】



【図 1 0】



【図 1 1】



【図 1 2】

Ch5

+2.31	-6.45	-3.28	+3.55	-4.12
-------	-------	-------	-------	-------

突然変異
↓

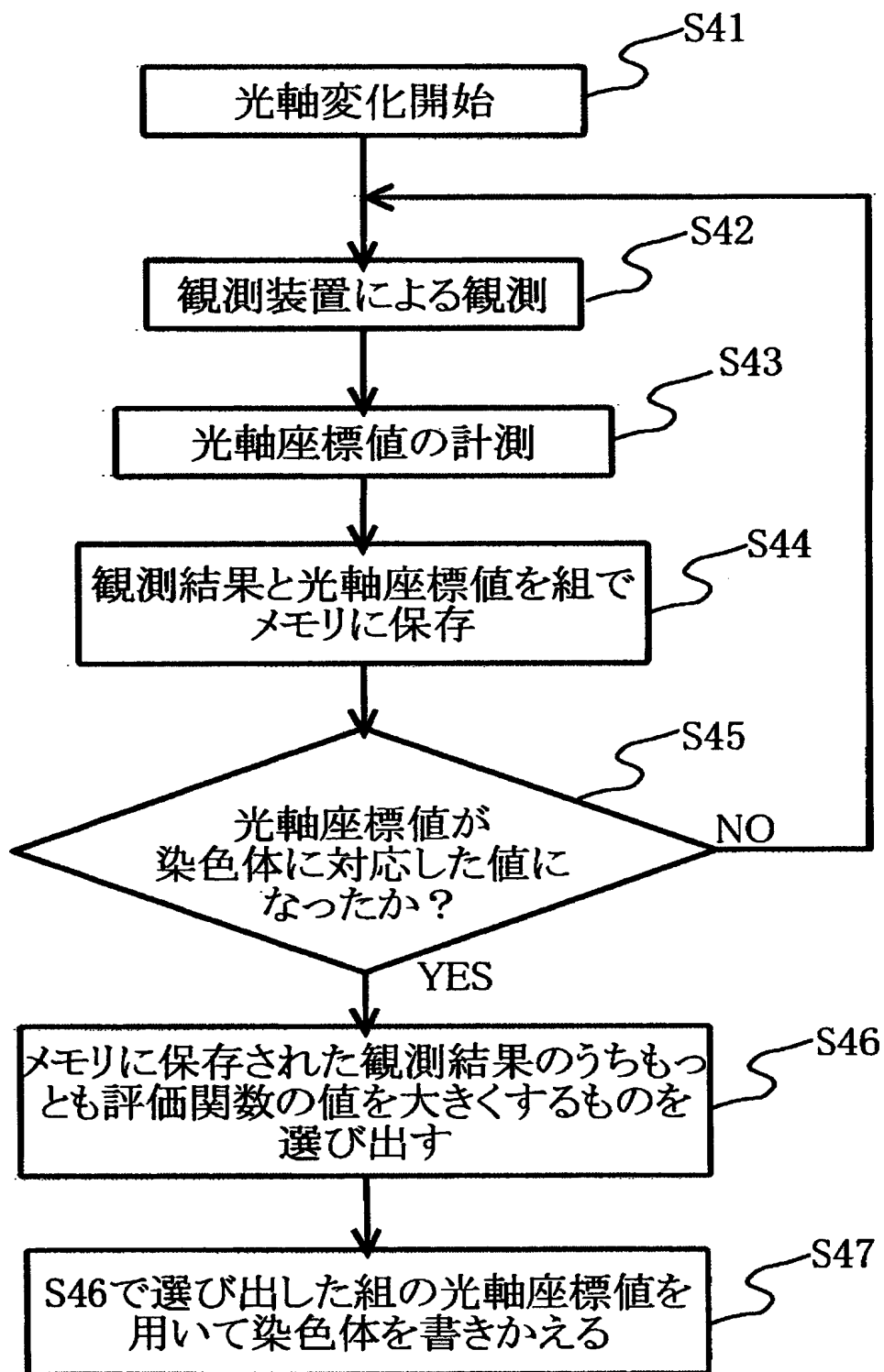
正規乱数 $N(0, \sigma)$
+

+0.12	-0.05	+0.02	-0.07	-0.09
-------	-------	-------	-------	-------

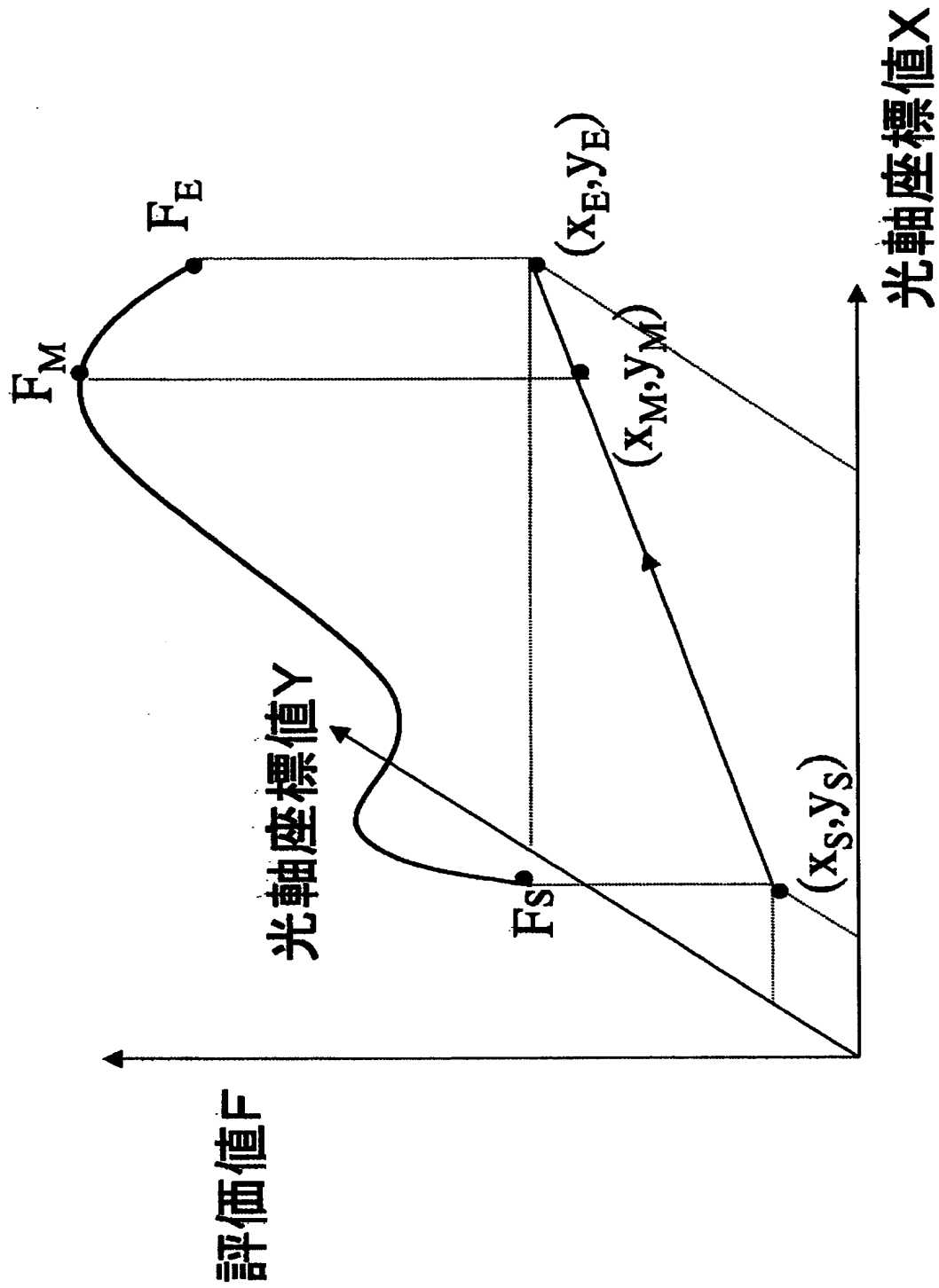
Ch6

+2.45	-6.50	-3.26	+3.48	-4.21
-------	-------	-------	-------	-------

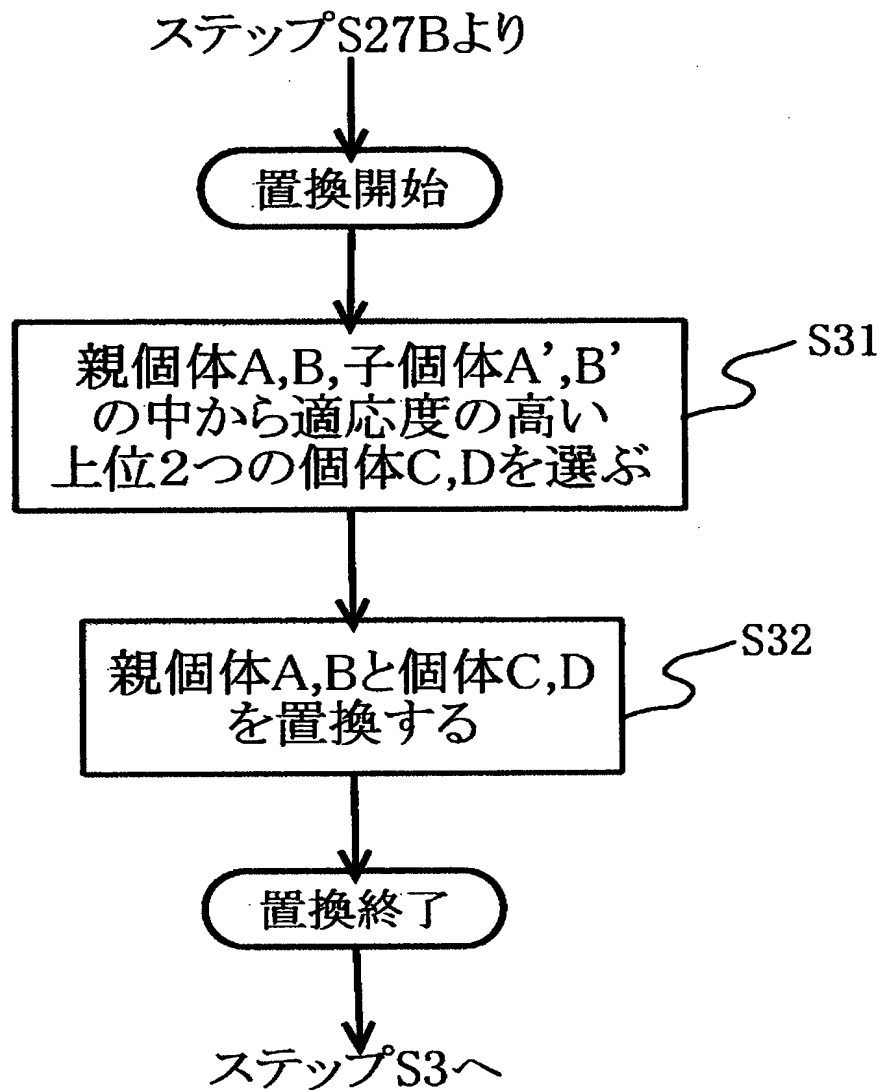
【図13】



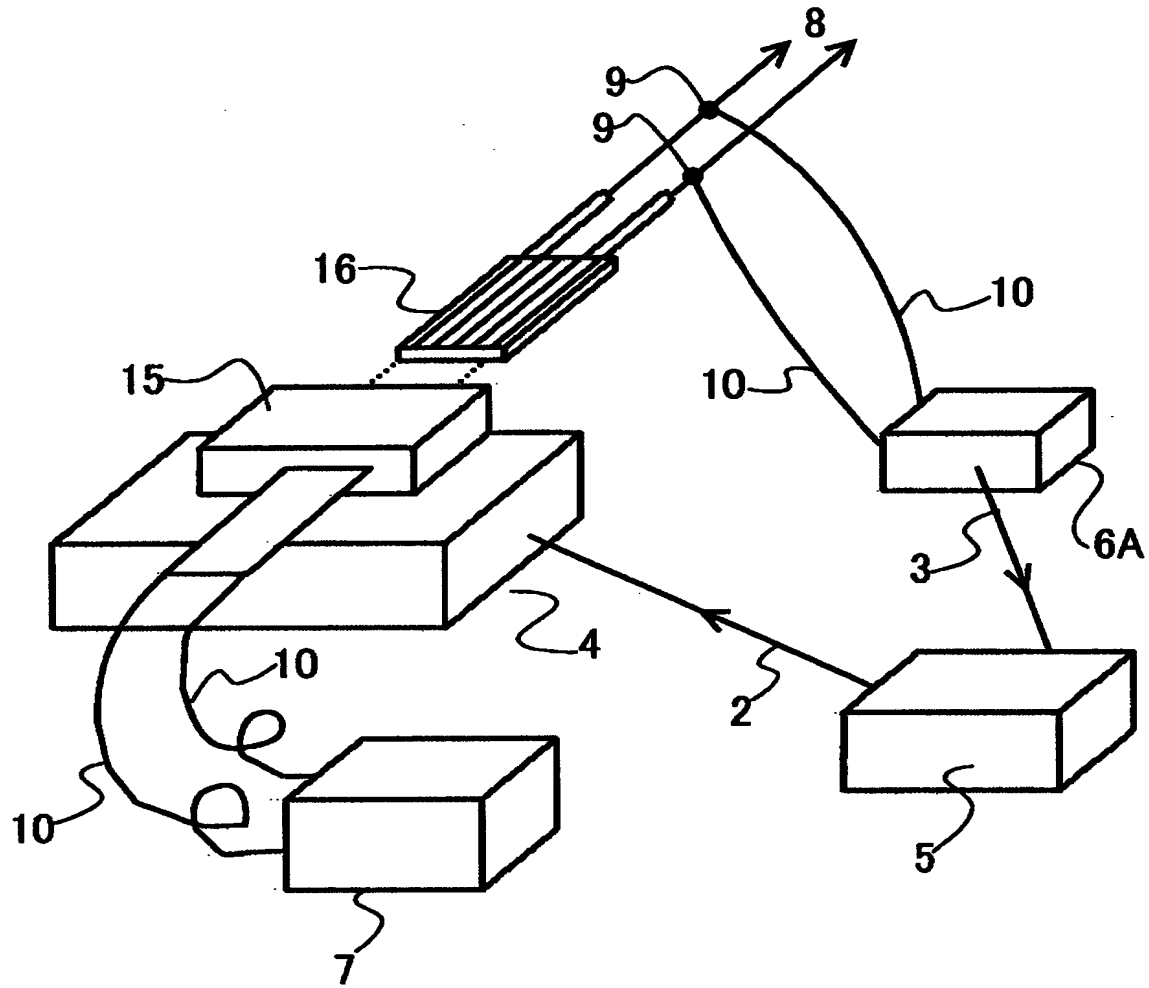
【図 14】



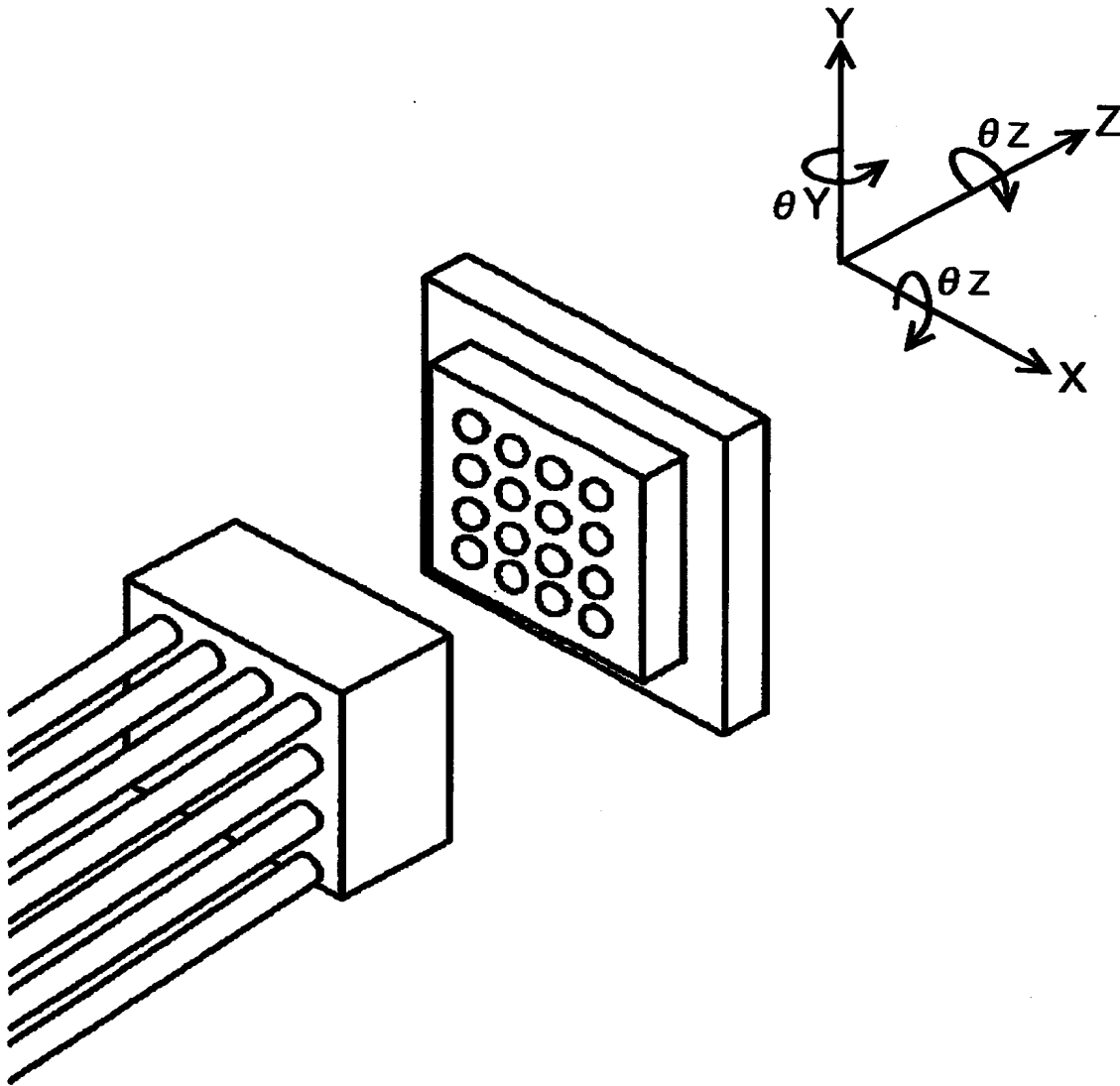
【図 1 5】



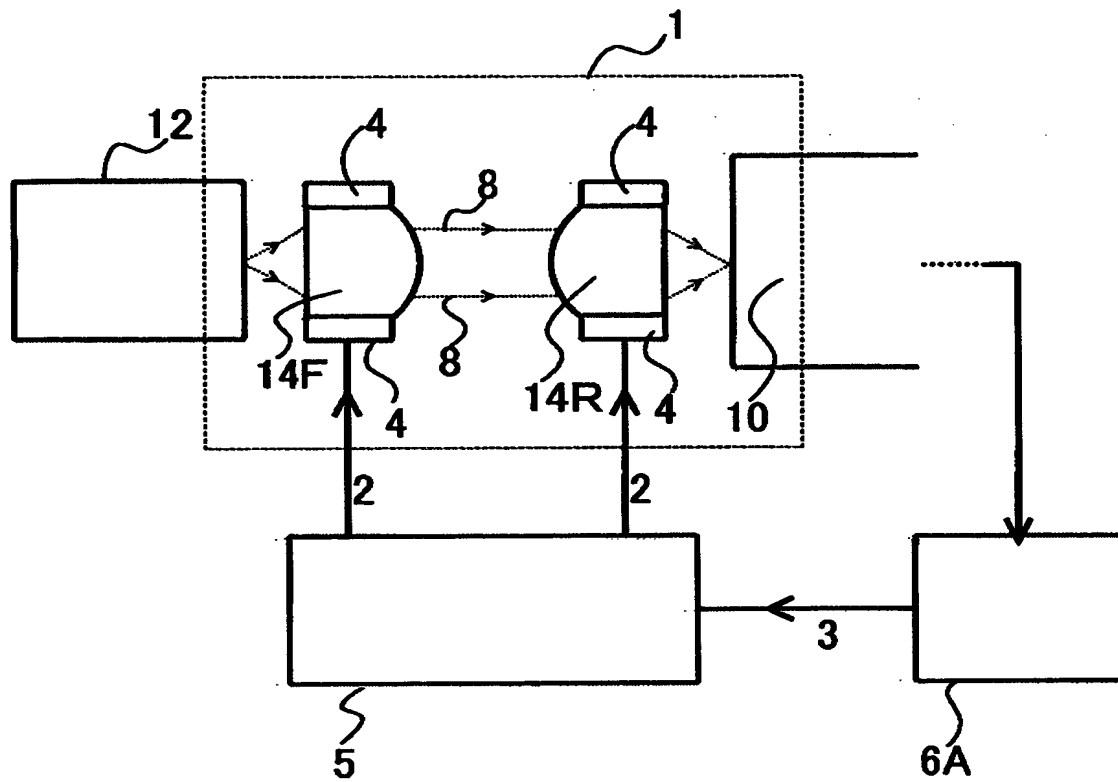
【図16】



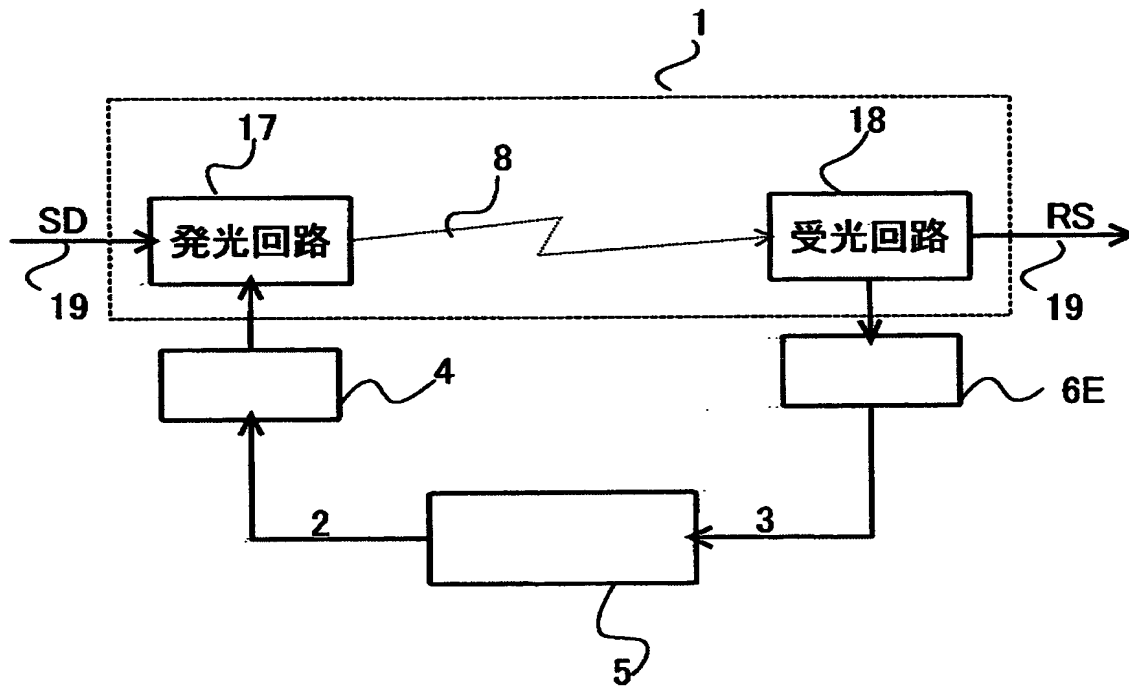
【図 17】



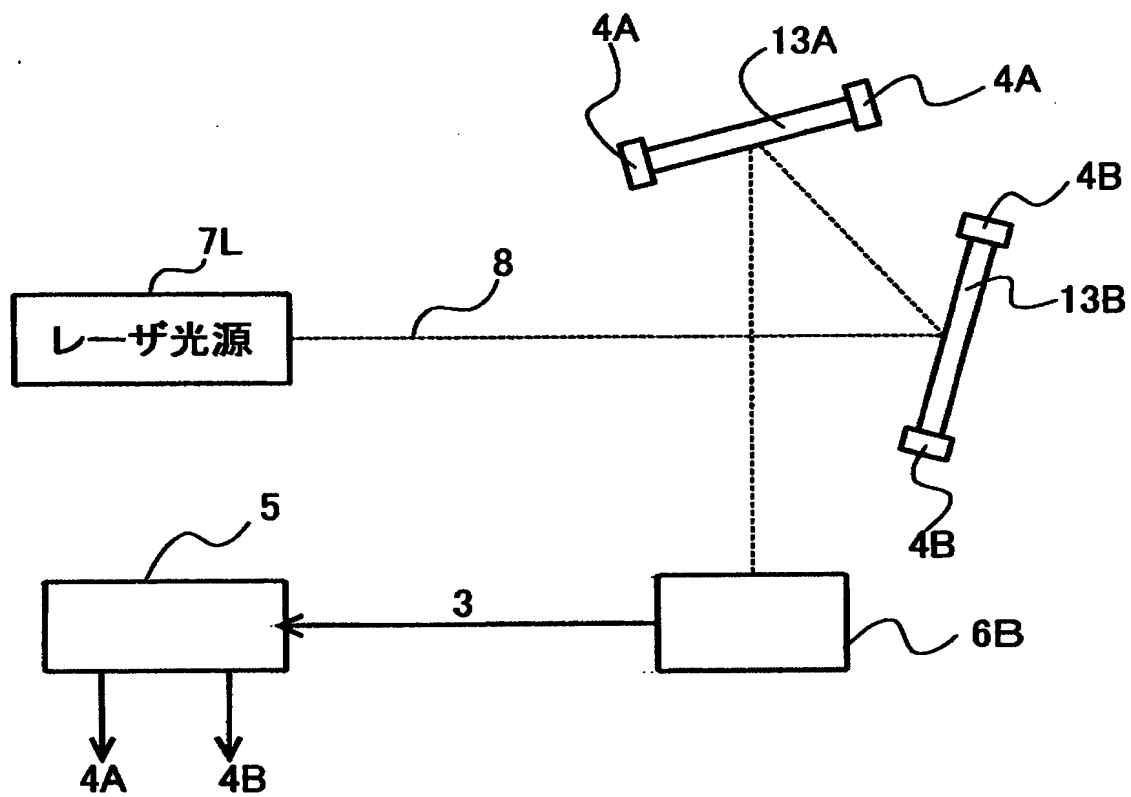
【図 18】



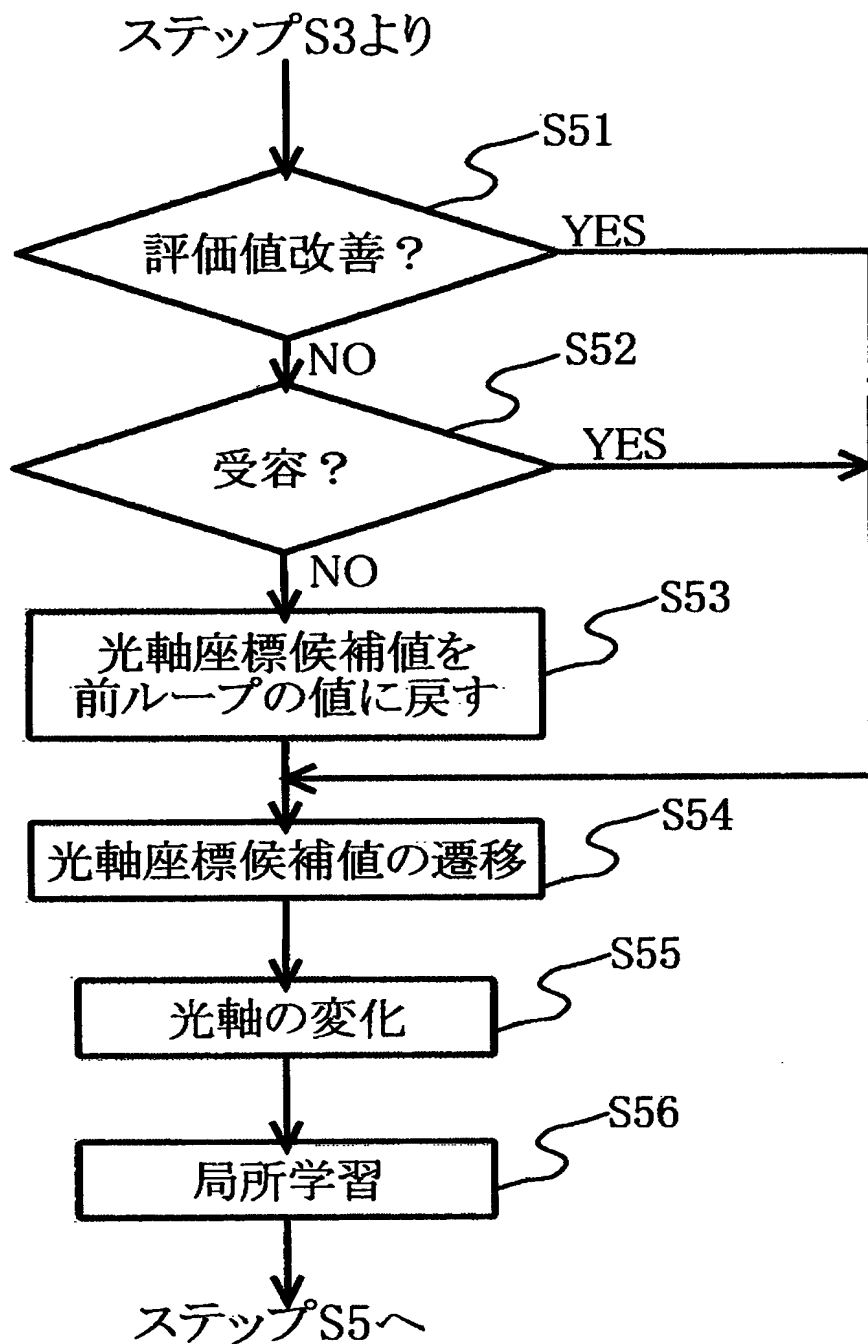
【図 19】



【図 2 0】



【図 2 1】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 局所的なピークを回避して多自由度の光軸調整を高速かつ並列に実行することができ、しかも伝送光強度分布の形状に応じてアルゴリズムを追加、変更する必要がなく、更には外乱の存在に強い、光伝送路の光軸調整方法を提供すること。

【解決手段】 複数の光学部品を含む光伝送路の光軸調整方法であって、該光学部品の内特定の単一もしくは複数の光学部品の光軸を、該光伝送路を通過した光の評価値が最適となるように、遺伝的アルゴリズムをはじめとする確率的探索手法に従って調整装置が順次変化させることを特徴としている。

【選択図】 図 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001144]

1. 変更年月日	1990年 9月20日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区霞が関1丁目3番1号
氏 名	工業技術院長

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [5 0 0 0 4 6 8 9 6]

1. 変更年月日 2 0 0 0 年 1 月 1 7 日

[変更理由] 新規登録

住 所 茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技術院電子技術総合研
究所内

氏 名 村川 正宏

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [5 9 7 0 7 3 5 3 1]

1. 変更年月日 1 9 9 7 年 5 月 2 7 日

[変更理由] 新規登録

住 所 茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技術院電子技術総合研
究所内

氏 名 樋口 哲也